

Tous les papiers se recyclent,
alors trions-les tous.

**C'est aussi
simple à faire
qu'à lire.**

La presse écrite s'engage pour le recyclage
des papiers avec Ecofolio.



L'expérience du cerveau coupé en deux

QUE SE PASSE-T-IL QUAND LES COMMUNICATIONS SONT ROMPUES ENTRE LES DEUX HÉMISPHÈRES CÉRÉBRAUX? C'EST CE QU'A ÉTUDIÉ MICHAEL GAZZANIGA DANS LES ANNÉES 1960, PRÉCISANT AINSI LES FONCTIONS DE CHAQUE HÉMISPHÈRE...

Au début des années 1960, le neuroscientifique américain Michael Gazzaniga a conscience de vivre un moment historique quand il teste les capacités cognitives de patients au «cerveau divisé». Ces derniers sont des épileptiques dont les deux hémisphères cérébraux ont été déconnectés par une opération chirurgicale afin de limiter leurs crises. «C'était ma première journée de chercheur, raconte Michael Gazzaniga quarante ans plus tard. À peine la porte d'entrée franchie, une tâche me fut assignée. Les expériences sur le cerveau divisé que j'avais élaborées durant ma dernière année à Dartmouth College allaient enfin être pratiquées sur des patients, ici, à Rochester.»

Les tests révéleront alors un fait étonnant: lorsque les patients voient un objet dans la moitié gauche de leur champ visuel – analysée par l'hémisphère droit du cerveau –, ils sont incapables de donner son nom. Une découverte qui remplit le jeune chercheur de fierté: «Ce résultat, nous l'avons obtenu grâce à une expérience que j'avais conçue, mise au point et réalisée, moi, un simple doctorant de l'Institut de technologie de Californie! C'est ainsi qu'a commencé l'histoire moderne de la recherche sur le cerveau divisé. J'ai passé les cinq années suivantes dans une sorte d'état de grâce, à travailler tous les jours dans l'une des institutions scientifiques les plus intéressantes du monde, avec l'un des plus grands biologistes de tous les temps, Roger Sperry.»

Si l'étude des cerveaux divisés (*split brains* en anglais) commence vraiment avec les expériences de Michael Gazzaniga, ses prémices remontent aux années 1940. Les neurologues cherchaient alors à soigner des patients épileptiques sur qui les médicaments n'avaient aucun effet. Ils s'étaient aperçus que les crises se transmettaient parfois d'un hémisphère cérébral à l'autre à travers le corps calleux, un faisceau de fibres reliant les deux moitiés du cerveau comme un câble électrique. Pourrait-on les contenir en sectionnant ce câble, profondément enfoui dans la fissure entre les deux hémisphères? Les neurochirurgiens tentèrent l'opération sur des animaux, puis sur vingt-six patients souffrant de crises épileptiques sévères. Avec des résultats peu probants, qui conduisirent à l'abandon provisoire de la technique.

Il faudra attendre plus de vingt ans pour que deux neurochirurgiens de Los Angeles tentent à nouveau de l'appliquer. Certains >



© Stefano Fabbri

L'ESSENTIEL

> Il y a un demi-siècle, des neurochirurgiens ont sectionné le corps calleux – le principal réseau de fibres reliant les deux hémisphères cérébraux – de certains patients épileptiques, afin d'endiguer leurs crises.

> En étudiant ces patients, Michael Gazzaniga a pu attribuer différentes fonctions à chaque hémisphère du cerveau.

> Si le gauche prend généralement en charge le langage, le droit traite la perception des visages.

L'AUTEURE



DANIELA OVADIA
codirectrice du laboratoire Neurosciences
et société de l'université de Pavie,
en Italie, et journaliste scientifique



Les personnes dont le cerveau est coupé en deux ont une vision altérée de leur environnement. Ce qui apparaît dans certaines parties de leur champ visuel, notamment, ne peut être verbalisé...

> patients acceptent de subir l'intervention, car les crises rendent leur quotidien invivable : elles surviennent jusqu'à dix fois par jour et menacent même d'être fatales. Les neurochirurgiens sectionnent alors leur corps calleux de façon plus précise et plus profonde que lors des précédents essais, et, cette fois, le succès thérapeutique est au rendez-vous. Les crises d'épilepsie ont grandement diminué, mais qu'en est-il des capacités cognitives des patients ? Certains neurologues ne s'attendent pas à des changements spectaculaires. Chaque hémisphère possède en effet des compétences et des tâches spécifiques – déduites du « modèle lésionnel » de l'époque, qui associe un trouble particulier à chaque zone lésée chez des patients victimes d'un accident vasculaire cérébral. D'ailleurs, les tests menés dans les années 1940 par le neurologue Andrew Akelaitis sur le premier groupe de patients au corps calleux sectionné n'avaient révélé aucune anomalie.

Mais pour le neurobiologiste Roger Sperry, qui a sectionné quelques années plus tôt le corps calleux de rats, de chats et de singes, l'intervention n'est pas anodine sur le plan cognitif. Les animaux opérés avaient en effet des comportements étranges. Quant aux tests d'Akelaitis, peut-être n'étaient-ils pas assez précis ?

C'est à ce moment qu'entre en scène la jeune neurologue Michael Gazzaniga. Durant ses études, il imagine une série de tests pour évaluer les fonctions cognitives des deux hémisphères, avec le fol espoir d'être autorisé à les expérimenter sur les patients opérés dans les années 1940. Son travail attire l'attention de Sperry, qui le convoque à l'Institut de technologie de Californie (Caltech) lorsqu'il apprend que certains neurochirurgiens pratiquent à nouveau la callosotomie thérapeutique.

UN DISPOSITIF QUI NE SOLLICITE QU'UN SEUL HÉMISPHERE

L'histoire des neurosciences retiendra les initiales de deux patients soumis aux tests du jeune chercheur : W. J. et V. P. Le premier a 47 ans quand il accepte de passer les tests, au début des années 1960. Souffrant de crises d'épilepsie depuis une blessure contractée à la tête à l'âge de 25 ans, il vient d'être opéré. Des années plus tard, l'invention de l'imagerie par résonance magnétique permettra de confirmer que son corps calleux est complètement sectionné.

Le test le plus connu passé par W. J. sert à mesurer les capacités mathématiques. Au centre d'un écran d'ordinateur s'affiche brièvement une opération simple – une addition ou une multiplication. Juste après, des nombres sont présentés en alternance d'un côté ou de l'autre d'un repère, également situé au centre de l'écran, et que le patient doit fixer. Pour chacun d'eux, le patient doit dire s'il s'agit ou non

du résultat de l'opération. Grâce à ce dispositif astucieux, chaque nombre est perçu par un seul hémisphère. S'il est présenté dans la moitié droite du champ visuel, c'est l'hémisphère gauche qui le voit, et *vice versa*, puisque les fibres du nerf optique se croisent pendant leur parcours de la rétine au cortex visuel.

Le résultat de l'expérience est clair : lorsque les nombres sont présentés dans la moitié droite du champ visuel, et donc perçus par l'hémisphère gauche, W. J. identifie correctement les réponses exactes. Quand ils sont affichés dans la partie gauche du champ visuel, et donc traités par l'hémisphère droit, il répond au hasard.

CHRONOLOGIE

1940

Des chercheurs établissent que les crises épileptiques diffusent d'un hémisphère à l'autre en passant par le corps calleux. Deux neurochirurgiens américains, William Van Wagenen et Yorke Herren, tentent alors de les endiguer en sectionnant ce dernier – une opération nommée callosotomie –, créant des patients au « cerveau divisé » (ou patients *split-brain*).

1944

Le psychiatre et neurologue Andrew Akelaitis décrit pour la première fois les effets cognitifs de l'opération.

1956-1958

Roger Sperry, biologiste spécialisé dans l'étude du comportement animal, met au point une batterie de tests pour analyser le cerveau divisé chez les rats, les chats et les singes.

1962-1967

Michael Gazzaniga, Joseph Bogen et Roger Sperry appliquent les protocoles expérimentaux mis au point

sur les animaux à une nouvelle série de patients *split-brain*.

1971

Les tests effectués sur des patients ayant subi une callosotomie partielle révèlent que chaque section du corps calleux possède une fonction spécifique.

1978

Michael Gazzaniga et Joseph LeDoux introduisent le concept d'un hémisphère gauche « interprète », qui nous permettrait de décrire et d'expliquer ce que nous voyons et ce que nous faisons.

1981

Roger Sperry remporte le prix Nobel de médecine pour ses découvertes sur la spécialisation des hémisphères cérébraux.

1982

Jeffrey Holtzman montre que les deux hémisphères collaborent encore parfois pour traiter les informations, même après la section du corps calleux, grâce à des connexions résiduelles.

1989

Steven Luck montre que chez des patients ayant subi une callosotomie totale, chaque hémisphère peut diriger son attention visuelle sur une zone spécifique.

2003

L'hémisphère droit étant supérieur dans le traitement de l'information visuospatiale, Paul Corballis suggère qu'il tranche entre les perceptions visuelles ambiguës et crée une représentation fiable du monde.

Conclusion: c'est l'hémisphère gauche qui se charge d'effectuer les calculs mentaux.

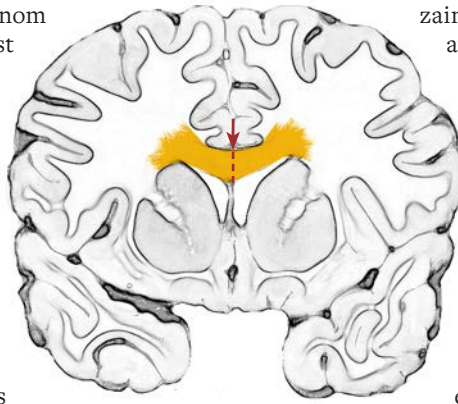
V. P., également désignée par le prénom Vicky dans la littérature scientifique, est quant à elle une jeune femme qui a subi une callosotomie en 1979, à l'âge de 27 ans. En 1984, un examen d'imagerie par résonance magnétique (IRM) révèle que toutes les connexions entre les deux hémisphères n'ont pas été sectionnées: quelques fibres sont restées en place à l'avant et à l'arrière du corps calleux. Elles représentent moins de 2 % des connexions, et l'une des expériences impliquant V. P. vise à étudier si des informations visuelles sont transmissibles à travers ces quelques fibres restantes.

Lors de cette expérience, deux images sont présentées à V. P. dans des parties distinctes de son champ visuel, afin que chacune soit traitée par un hémisphère différent. La patiente doit déterminer si elles ont une couleur, une forme ou une taille identique. Il faut alors que les deux moitiés du cerveau comparent ce qu'elles ont perçu. Mais les résultats indiquent que V. P. répond au hasard, signe que ses deux hémisphères ne communiquent pas, malgré les fibres épargnées. Lors d'une seconde expérience, on fait lire à la patiente des paires de mots, là encore disposées de façon qu'un mot soit traité par chaque hémisphère, et elle doit indiquer s'ils riment ou non. V. P. répond cette fois de façon assez précise. Certaines informations à caractère verbal circulent d'un hémisphère à l'autre.

Le cas de cette jeune femme contribue à l'établissement d'une carte fonctionnelle du corps calleux: différentes parties de cette structure véhiculent ainsi les informations motrices, somatosensorielles, auditives ou visuelles. Des recherches récentes ont aussi montré l'existence de connexions subcorticales entre les deux hémisphères cérébraux, qui ne sont pas atteintes lors d'une callosotomie.

DE CURIEUX SYMPTÔMES

Les patients au cerveau divisé (ou patients *split-brain*) ont des symptômes curieux: quand on présente un mot à leur hémisphère droit, ils ne le comprennent pas, car ce côté du cerveau n'est pas dédié aux fonctions linguistiques (du moins chez les droitiers). Mais si on leur demande d'écrire ce qu'ils ont vu en utilisant la main gauche – commandée par l'hémisphère droit –, ils y parviennent correctement. De même, si on bande les yeux d'un patient en lui glissant dans la main gauche une brosse à dents, il reconnaît l'objet à partir de sa forme et exprime sa fonction en mimant le geste de se brosser les dents, mais il est incapable de le nommer. En effet, il n'a pas accès à sa bibliothèque de mots, qui se trouve dans l'autre hémisphère du cerveau.



Le corps calleux (en orange), constitué de multiples fibres nerveuses, forme un pont entre les deux hémisphères cérébraux. Il est profondément enfoui dans la crevasse qui sépare ces derniers. L'opération de callosotomie consiste à le sectionner (flèche rouge).

Grâce aux recherches de Michael Gazzaniga et d'autres neuropsychologues sur une douzaine de patients *split-brain*, nous savons aujourd'hui qu'un cerveau sain ressemble à deux machines indépendantes reliées par des câbles qui transmettent une grande quantité d'informations. Quand une connexion est interrompue, comme dans le cas de la callosotomie, l'information perçue par un hémisphère – qu'il s'agisse d'un mot, d'une image ou d'une sensation tactile – n'est pas transmise à l'autre. Avec les conséquences que nous avons décrites. Ces recherches ont aussi montré que, la plupart du temps et de façon très simplifiée, l'hémisphère gauche remplit principalement des fonctions linguistiques tandis que l'hémisphère droit traite surtout des informations visuelles et spatiales, s'occupant notamment de la reconnaissance des visages.

DEUX HÉMISPHÈRES SÉPARÉS, MAIS UNE CONSCIENCE

Michael Gazzaniga avait déjà compris que les deux hémisphères sont capables d'effectuer presque toutes leurs tâches de manière indépendante. Ces deux moitiés du cerveau ont toutefois deux «visions» différentes du monde, ce qui a suscité un vif intérêt chez les chercheurs qui étudient la personnalité et la conscience. «L'idée que la séparation des deux hémisphères créerait un individu porteur de deux consciences était fascinante, mais la réalité n'est pas aussi simple», tempérait toutefois le psychologue américain Michael Miller dans la revue *Nature* en 2012, à l'occasion des quarante ans du premier test sur les patients *split-brain*. En effet, chaque «module» du cerveau ne porte pas une conscience distincte, celle-ci dépendant aussi des multiples connexions qui parcourent l'encéphale.

Et les patients de Michael Gazzaniga, que sont-ils devenus? Ils vieillissent petit à petit et l'âge rend les longues séances de tests et d'évaluation moins faciles. Certains sont déjà décédés. Aujourd'hui, la section du corps calleux est presque complètement abandonnée, en raison de l'existence de traitements plus efficaces. En outre, pour étudier le fonctionnement de chaque hémisphère, nous disposons de techniques plus performantes et utilisables sur des sujets au corps calleux intact, comme l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ou la stimulation magnétique transcrânienne (qui permet d'activer ou d'inhiber certaines zones du cerveau avec des impulsions magnétiques). Mais grâce aux patients *split-brain*, qui ont accepté de se soumettre pendant des décennies à des expériences neuroscientifiques, nous savons bien mieux quoi chercher et quelles zones explorer. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Wolman, *A tale of two halves*, *Nature*, vol. 483, pp. 260-263, 2012.

M. Gazzaniga, *Le cerveau divisé*, *Pour la Science*, n° 251, 1998.

M. Gazzaniga et al., *Some functional effects of sectioning the cerebral commissures in man*, *PNAS*, vol. 48, pp. 1765-1769, 1962.

R

ENDEZ-VOUS

P.80 Logique & calcul
P.86 Art & science
P.88 Idées de physique
P.92 Chroniques de l'évolution
P.96 Science & gastronomie
P.98 À picorer

LA SUITE DE FIBONACCI... ET SES SUITES

La suite de Fibonacci est célèbre, au point d'avoir inspiré d'autres constructions: une suite de mots, des fractales, un arbre... Tous ces objets mathématiques constituent des terrains inépuisables de découvertes, encore aujourd'hui.

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
professeur émérite
à l'université de Lille
et chercheur au Centre
de recherche en
informatique, signal
et automatique de Lille
(Cristal).

Le dernier ouvrage
de J.-P. Delahaye:
**Mathématiques
et mystères**,
une sélection de ses
chroniques parues
dans *Pour la Science*
(Belin, 2016).

La suite (F_n) de Leonardo Fibonacci est définie par $F_0=0$, $F_1=1$ et $F_n=F_{n-1}+F_{n-2}$ pour $n>1$. Ses premiers termes sont donc $F_0=0$, $F_1=1$, $F_2=1$, $F_3=2$, $F_4=3$, $F_5=5$, $F_6=8$, $F_7=13$, $F_8=21$, $F_9=34$, $F_{10}=55$, $F_{11}=89$, $F_{12}=144$, ...

Les mathématiciens, amateurs ou professionnels, l'étudient obstinément. Elle est simple, l'utiliser dans un test d'intelligence serait un cadeau, et pourtant elle engendre des surprises variées, des théorèmes et même des conjectures. Cette suite et le nombre d'or $\phi=1,618033988...$, limite du rapport de deux termes consécutifs de la suite, se retrouvent partout en mathématiques (voir l'encadré 1).

Cette ubiquité un peu semblable à celle du nombre π , qui lui aussi est présent dans une multitude de contextes mathématiques, physiques et biologiques, a une explication évidente qui devrait calmer les numéologues plus ou moins sérieux voulant y voir un mystère profond susceptible d'éclairer les sciences et les arts.

L'explication de l'ubiquité de la suite de Fibonacci et du nombre d'or est que ce sont des objets simples, puisqu'ils ont des définitions simples, et que les objets simples sont bien sûr partout!

La simplicité de la suite de Fibonacci n'est pas la même que celle des nombres 2 , $\sqrt{3}$, π ou e , eux aussi omniprésents; mais, sur le plan mathématique, c'est une suite à peu près aussi élémentaire que les suites arithmétiques ($s_{n+1}=s_n+r$) et les suites géométriques ($s_{n+1}=ks_n$), elles aussi rencontrées dans des contextes variés.

Reste que la suite de Fibonacci est à l'origine de questions délicates parfois difficiles et souvent inattendues. Sans refaire le parcours de tout ce qu'on sait sur elle (il faudrait un gros livre), évoquons quelques propriétés et questions fascinantes qui la concernent.

UNE MULTITUDE DE DÉFINITIONS

D'abord, nous noterons que la définition que nous avons donnée n'est qu'une définition parmi une multitude. En voici quelques autres.

– Le nombre F_n est le nombre de façons d'écrire n comme une somme de nombres entiers impairs. On a ainsi $F_6=8$ car il y a 8 façons d'écrire 6 comme somme de nombres entiers impairs: $6=1+1+1+1+1+1=1+1+1+3=1+1+3+1=1+3+1+1=3+1+1+1=1+5=5+1=3+3$.

– Le nombre F_n est le nombre de suites de longueur n composées d'entiers compris entre 1 et $n-2$ commençant par 1 et dont deux termes consécutifs diffèrent toujours exactement d'une unité. On retrouve $F_6=8$, car il y a 8 telles suites: 121212, 121232, 121234, 123212, 123232, 123234, 123432, 123434.

– Le nombre F_{n+2} est le nombre de mots de longueur n composés de 0 et de 1 et n'ayant pas deux 1 consécutifs. On retrouve par exemple que $F_5=5$, car il existe exactement 5 mots de longueur 3 ne comportant pas deux 1 consécutifs: 000, 100, 010, 001, 101. La valeur $F_6=8$ provient des 8 mots de longueur 4 ne comportant pas deux 1 consécutifs: 0000, 1000, 0100, 0010, 0001, 0101, 1001, 1010.

– Le nombre F_{n+1} est le nombre de façons de paver un rectangle $2 \times n$ avec des

