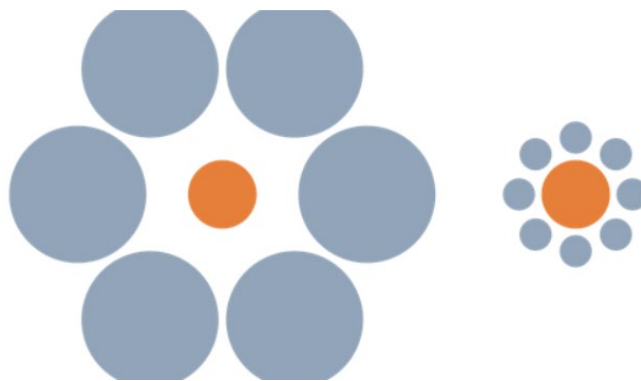


Contribution scientifique

Claire Sergent : Notre cerveau, ce que nous disent les sciences cognitives sur son organisation

Nous présentons ici un texte produit par Claire Sergent pour La main à la pâte.

Claire Sergent est Docteure en Neurosciences Cognitives, Maîtresse de Conférences. Laboratoire Psychologie de la Perception (UMR 8242) – CNRS / Université Paris Descartes – Centre Biomédical des Saints-Pères – Paris



Les deux cercles orange ont-ils la même dimension ? Le cercle droit vous paraît plus grand que le gauche, n'est-ce pas ? Mais si vous faites une mesure, vous constaterez qu'ils ont la même taille. Vous êtes devant une illusion perceptive. Tout le monde a tendance à voir le cercle droit comme étant plus grand que l'autre !

Cette illusion résiste à la connaissance ; elle fonctionne même si on la connaît déjà ! Les illusions, ces phénomènes surprenants, sont utiles aux scientifiques : ils les considèrent comme des fenêtres ouvertes sur notre cerveau, révélatrices de son fonctionnement. Illusions, mais aussi certains de nos comportements et certaines pathologies nous permettent de comprendre comment les réseaux cérébraux traitent l'information.

Une organisation du cerveau en modules et en cartes

On ne peut être qu'intrigué qu'un organe biologique puisse être à l'origine de ce foisonnement d'idées, de raisonnements, de perception, de rêves, de sentiments, qui constituent notre vie mentale. Mais il

faut bien se rendre à l'évidence : si une petite partie du cerveau est endommagée, une faculté mentale particulière est perdue ; si une autre partie du cerveau est endommagée, une autre faculté mentale particulière est perdue.

Une observation célèbre et fondatrice dans l'exploration des relations entre cerveau et activité mentale est celle de Paul Broca (1824-1880). En 1861, ce médecin français examine un patient, Monsieur Leborgne, qui ne parvient plus à prononcer d'autres syllabes que « tan ». Il n'arrive pas non plus à s'exprimer par écrit. Pourtant, il reste capable de comprendre ce qu'on lui dit. A la mort de ce patient, Paul Broca fait l'autopsie de son cerveau, et découvre une lésion importante dans le cortex frontal inférieur gauche. Il fera la même observation chez d'autres malades, confirmant le lien systématique entre cette aire, appelée maintenant aire de Broca, et la production du langage. Dix ans plus tard, Carl Wernicke (1848-1905), un neurologue allemand, met en évidence une autre aire cérébrale, dans le cortex temporal gauche, qui est impliquée non pas dans la production, mais dans la compréhension du langage.

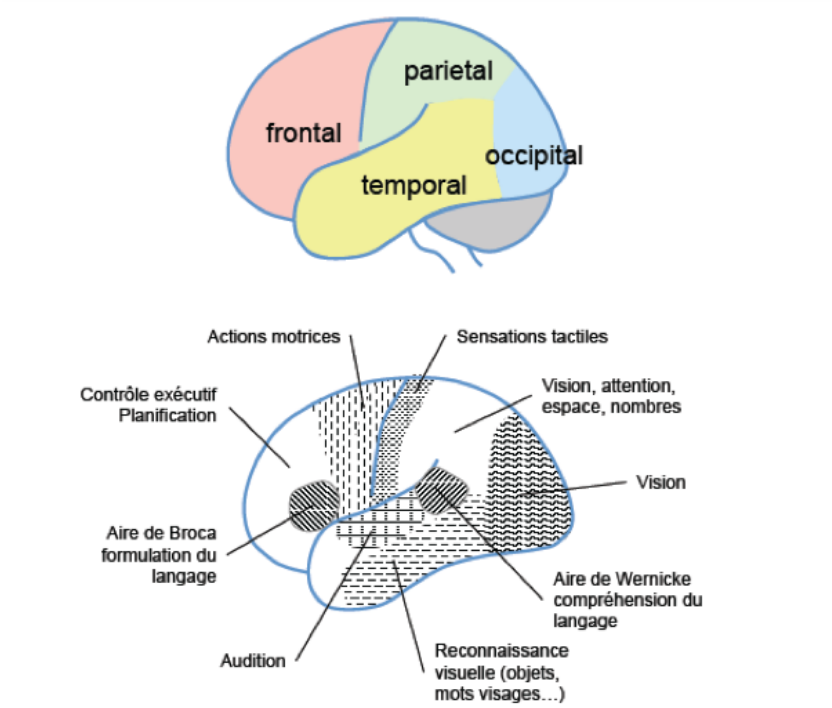


Illustration 1 : les grands lobes cérébraux (en haut) et spécialisation fonctionnelle de certaines aires cérébrale (en bas).

Ces observations révèlent un des principes fondamentaux de la relation entre notre cerveau et nos capacités mentales : une organisation en régions spécialisées, que l'on appelle aussi « modules ». De la même manière que certaines aires cérébrales sont essentiellement dédiées au langage, certaines autres aires sont spécialisées dans le traitement de l'information visuelle, d'autres sont spécialisées dans le traitement de l'information auditive, d'autres encore commandent au corps de bouger, etc.

Une aire spécialisée se compose de plusieurs aires encore plus spécialisées : parmi les aires visuelles, par exemple, des aires sont plus particulièrement dédiées à la reconnaissance des visages, d'autres à la reconnaissance des mots, d'autres à la perception du mouvement, etc.

Toutes ces aires communiquent entre elles, bien sûr, mais chacune d'entre elles reçoit spécifiquement un type précis d'informations, effectue certains types de transformation sur ces informations, et transmet le résultat de cette transformation à d'autres aires.

On peut se représenter le cerveau comme une collection de spécialistes qui communiquent entre eux et s'influencent les uns les autres.

Lorsqu'on entre dans le détail, on observe qu'au sein de chacune de ces aires spécialistes, l'information est souvent ordonnée selon un schéma compréhensible, comme une carte de l'information.

Les différentes aires visuelles sont autant de cartes du monde visuel. Le cortex visuel primaire représente une carte maîtresse d'où découlent les autres cartes visuelles. Lorsqu'un objet se trouve au centre de notre vision, son image est représentée par la partie la plus postérieure du cortex visuel primaire, à la pointe du cortex occipital. Les objets qui se trouvent juste à côté sont représentés par une région un peu plus antérieure dans l'aire visuelle, et plus un objet s'éloigne du point central, plus sa représentation est éloignée dans la carte de l'aire visuelle.

Mais cette représentation est très déformée : la représentation du centre de vision occupe une partie très importante de la carte, autrement dit de nombreux neurones sont dédiés à l'information qui provient de cette zone, permettant une représentation très précise et détaillée ; à mesure que l'on s'éloigne en périphérie, la représentation occupe moins d'espace dans la carte visuelle, elle devient moins détaillée, plus « floue ». Cette carte du monde visuel a donc « un point de vue ». Les techniques d'imagerie cérébrale actuelles permettent de reconstruire l'organisation de la carte visuelle de chaque individu et de constater que les principes d'organisation spatiale de cette carte cérébrale se retrouvent chez tous les individus, mais que le degré de déformation peut varier d'un individu à l'autre.

Pour les sons, l'organisation spatiale est moins évidente, le trait principal d'organisation est « tonotopique », c'est à dire qu'il est fonction de la « hauteur » des sons, des plus aigus aux plus graves.

Pour la sensation de toucher, on retrouve une carte des différents endroits du corps, à l'arrière du sillon central. Encore une fois, cette carte est distordue par rapport aux proportions réelles : la bouche et la langue sont représentées de manière beaucoup plus précises et développées que le front par exemple. Une carte similaire lui fait face, à l'avant du sillon central, pour la commande motrice (certaines régions du corps nécessitent plus de commandes que d'autres, la main et la bouche par exemple). Cette représentation du corps au niveau du cortex est un être difforme que l'on appelle *homonculus*.

L'unité constitutive de ces cartes est bien sûr le neurone. Si l'information est organisée de façon spécialisée, c'est parce que chaque neurone, à sa place, est spécialisé. Lorsqu'on enregistre l'activité d'un neurone dans l'aire visuelle primaire, on constate qu'il ne s'active que lorsqu'on présente un objet à un endroit précis du champ visuel et si l'objet est présenté avec l'orientation que reconnaît spécialement ce neurone (certains neurones reconnaissent les lignes obliques, d'autres les lignes horizontales, etc.).

Dans le cerveau, quelle que soit l'échelle à laquelle on l'observe, l'information est organisée, et les principes de cette organisation sont communs à tous les individus d'une même espèce.

Quels types de traitement de l'information effectue le cerveau, au sein de cette structure organisée ?

Reconstruire le monde : le cerveau statisticien

Dans le champ de la perception, on peut être tenté de supposer que des fonctions comme voir, entendre ou sentir requièrent des calculs peu complexes de la part du cerveau : si nous ouvrons les yeux, toute l'information visuelle est là, et il suffirait, en somme, de l'enregistrer, d'en prendre acte. Mais si l'on essaie de construire des machines qui « voient », on réalise alors l'ampleur du défi : « voir », c'est en fait un exploit computationnel.

S'il a fallu environ dix ans pour mettre au point un superordinateur qui puisse battre le champion du monde d'échecs, Garry Kasparov, il a fallu bien plus longtemps pour tout juste commencer à savoir faire de la reconnaissance d'objets et de visages par ordinateur : or un être humain reconnaît constamment et sans effort des objets et des visages.

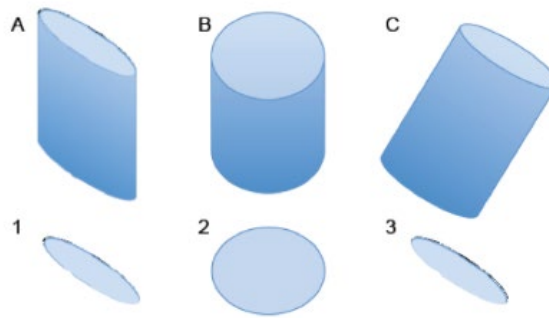


Illustration 2 : ambiguïtés des stimulations visuelles

© Cl. Sergent

Qu'y a-t-il donc de si complexe dans la perception ? Sur l'illustration 2, quels sont les objets identiques entre A, B et C ? Il est évident que B et C correspondent au même objet, un cylindre, vu sous différents angles, tandis que A n'est pas un cylindre. Cette évidence n'est certainement pas dans le dessin lui-même. Elle réside dans notre connaissance du monde et des objets du monde en trois dimensions. La section d'un cylindre se projette sur la rétine de manière très différente selon que l'objet est vu d'en haut (B), ou de côté (C). Mais pour l'observateur, c'est bien le même objet, ça se « voit » ! A l'inverse, il ne fait aucun doute que A et C ne représentent pas le même objet, pourtant la section de A et la section de C se projettent de manière identique sur la rétine, comme le soulignent les détails reproduits sous chaque objet.

A partir d'une information très ambiguë, par exemple une ellipse sur la rétine, le système visuel reconstruit l'objet du monde extérieur qui est le plus probablement à l'origine de cette information. Pour cela il a besoin non seulement d'intégrer les différents indices présents dans l'image, mais aussi de combiner cette analyse avec ses connaissances sur le monde : toute l'expérience qu'il a emmagasinée lui sert d'a priori pour interpréter ce qui est là.

L'illustration 3 nous démontre l'existence de ces a priori de manière encore plus flagrante. Elle représente la face d'un dé à 5 points. Nous voyons sans aucun doute les 4 points en périphérie en creux, et le point central en relief.

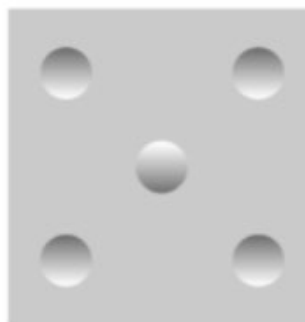
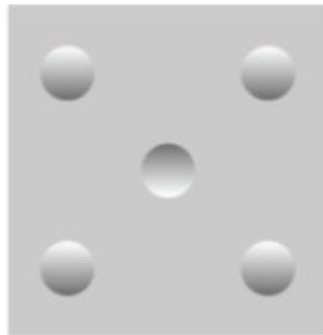


Illustration 3 : utilisation d'un a priori dans l'interprétation visuelle

Mais si nous retournons l'image à 180°, on ne voit plus le dé de même façon, la perception du relief est inversée. C'est que pour interpréter un relief sur une image en 2 dimensions, nous avons besoin de savoir d'où vient la lumière.

Illustration 3 : utilisation d'un a priori dans l'interprétation visuelle



En l'absence d'indices particuliers sur la provenance de la lumière, le cerveau suppose spontanément que la lumière vient d'en haut, c'est pourquoi l'interprétation du relief dans cette image dépend de ce qui est en haut et de ce qui est en bas. Cet a priori d'une lumière qui vient du haut est correct, puisque c'est statistiquement le cas le plus souvent dans notre environnement naturel !

Cette expérience et de nombreuses autres confirment que le système visuel utilise spontanément des a priori, c'est à dire des informations qui ne sont pas dans l'image, pour en livrer une interprétation.

On s'amuse souvent des illusions visuelles comme autant « d'erreurs » de notre perception. Or si on en comprend l'origine, on réalise qu'il ne s'agit pas tant d'erreurs mais bien plutôt de révélateurs du formidable fonctionnement par statistique inférentielle de la perception : la perception va bien au-delà de l'information présente sous nos yeux à un instant donné. Il s'agit de combiner au mieux les a priori issus de notre évolution ou de notre mémoire avec les données qui nous parviennent du monde extérieur.

L'inférence ne se limite pas au domaine perceptif, loin de là. Le cerveau interprète ce qui lui parvient, quelle qu'en soit la modalité. Il semble que l'on retrouve ce principe computationnel fondamental dans tous les domaines de la cognition : nous sommes tous des statisticiens nés, avant même d'avoir entendu parler de statistiques !

Dès la naissance, le bébé semble doté de compétences pour ce type de raisonnement probabiliste.

Devant des bébés de huit mois, un expérimentateur tire au hasard 5 balles d'une urne dont le contenu est caché. Une fois cet échantillon tiré, l'expérimentateur montre le contenu de l'urne aux bébés. Si l'expérimentateur avait tiré une boule blanche et que l'urne contient 4 boules rouges et une boule blanche, les bébés sont surpris et regardent l'urne plus longtemps que dans le cas inverse où le contenu est plus plausible.

Ce qui se passe au niveau des circuits neuronaux est un sujet de recherche très actif. L'hypothèse générale est que les circuits neuronaux sont sensibles aux statistiques de l'environnement, font des prédictions et confrontent ces prédictions aux entrées sensorielles pour ajuster leur « modèle interne ». En effet, dans le cerveau, l'information est représentée sous forme probabiliste : si l'on présente un trait penché de 45°, les neurones du cortex visuels « spécialistes » de 45° vont répondre très fortement, mais les neurones spécialistes d'angles proches comme 40° ou 50° vont également répondre un peu, représentant en quelque sorte la possibilité que l'angle mesure un peu plus ou un peu moins que 45°. Ce mode de représentation probabiliste rend en quelque sorte naturel le calcul d'inférences statistiques sur les représentations neuronales.

Ainsi, un des hauts faits du traitement cérébral est de permettre, sur la base d'une information nécessairement incomplète et ambiguë, d'inférer le réel. L'inférence Bayésienne rend également bien compte des processus de perception : étant donné des entrées ambiguës, le cerveau en reconstruit l'interprétation la plus probable. La règle de Bayes indique comment combiner, de façon optimale, les a priori issus de notre évolution ou de notre mémoire avec les données reçues du monde extérieur.

Rationnel versus émotionnel ?

Le cerveau, cette merveilleuse machinerie qui met en œuvre des inférences sophistiquées sur le monde, s'est construit au fil de l'évolution, probablement pas pour la beauté du savoir qu'il peut extraire dans l'absolu, mais plutôt en raison de la valeur adaptative que ces capacités cognitives apportent à l'individu qui les possède.

Ceci marque sans doute l'une des différences fondamentales entre les systèmes cognitifs naturels et les systèmes cognitifs artificiels, robots ou ordinateurs, tels qu'ils sont conçus actuellement. Si l'on peut voir le cerveau comme une machine de traitement de l'information, une de ses caractéristiques remarquables est qu'elle a un point de vue (et plusieurs millions d'années d'évolution derrière elle !). Cette observation est très importante si l'on veut comprendre les résultats des études qui interrogent le caractère « rationnel » de la cognition humaine.

Le cerveau humain effectue spontanément des inférences statistiques complexes. Et pourtant, lorsqu'on demande explicitement à des individus d'effectuer un raisonnement sur des probabilités, on peut observer qu'ils s'écartent systématiquement du choix rationnel qui aurait été fait par un ordinateur. Ils ont une véritable aversion pour le risque.

On soumet à des volontaires les deux options suivantes et ils doivent indiquer laquelle des deux a leur préférence : (a) gagner à coup sûr 240 € ou (b) avoir 25 % de chance de gagner 1000 € et 75 % de chance de ne rien gagner du tout. La majorité choisit l'option (a). Pourtant, le gain moyen est plus grand dans l'option (b), puisqu'il est de 250 € (1 chance sur 4 de gagner 1000 €).

Le choix majoritaire peut sembler « irrationnel », mais il a tout de même une « logique ». Il témoigne du fait que la décision humaine incorpore d'autres paramètres au calcul des probabilités, en l'occurrence « l'aversion au risque » : la plupart des êtres humains préfèrent un petit gain certain, qu'un gain plus important mais aléatoire. Cette observation a des implications très importantes notamment en économie, car elle montre qu'il est erroné de supposer que nous sommes des agents économiques faisant des choix « rationnels » : bien d'autres paramètres entrent en ligne de compte. Ces paramètres « extra-rationnels » reflètent sans doute le fait que l'individu fait des calculs, non pas dans l'absolu, mais à partir de son point de vue personnel.

Les études actuelles suggèrent que, pour faire un choix, l'individu pèse les différentes options en anticipant les émotions qu'il ressentira : si j'opte pour l'option (a), est-ce qu'elle me procurera une émotion plus positive que l'option (b) ? S'il est vrai que les émotions peuvent parfois conduire à des décisions néfastes à tous points de vue, même pour l'individu lui-même, elles sont en réalité essentielles au bon déroulement de la prise de décision. Il faut nuancer l'antagonisme ancien entre « rationnel » et « émotionnel ».

Un cerveau et un corps

Une analyse du traitement de l'information par le cerveau doit tenir compte du fait que le cerveau fait partie d'un corps qui bouge et interagit avec le monde. Nous comprenons le monde qui nous entoure en interagissant avec lui, nous ne sommes pas passifs devant l'information.

Lorsque nous regardons une image, nos yeux se déplacent en permanence. Et ils ne vont pas n'importe où ! Ils vont inspecter les endroits les plus à même de fournir des informations importantes, de sorte que l'on retrouve des schémas systématiques d'inspection d'une image chez tous les individus. Si quelqu'un nous parle, nos yeux vont en permanence « scanner » les yeux et la bouche de cet interlocuteur, les yeux notamment étant d'excellents indicateurs des émotions d'autrui.

Des recherches suggèrent que la cognition est dépendante de l'action, beaucoup plus intimement qu'on ne l'aurait imaginé. Même lorsque nous regardons un objet fixement, nos yeux ne sont pas totalement immobiles : ils font en permanence de tout petits mouvements, des « micro-saccades ». Ces mouvements font partie intégrante de la vision ; sans eux, nous ne pourrions pas « voir ». En effet, si par un dispositif ingénieux nous faisons en sorte qu'une image reste totalement fixe sur la rétine malgré

les mouvements des yeux, l'image qui est devant nos yeux disparaît, nous ne la voyons plus. Une analyse précise de ce phénomène suggère que toute la machinerie du système visuel, qui reçoit ses informations de la rétine, est sensible non pas à l'information reçue à un instant t , mais aux petits changements d'information dus au micro-saccades.

Autrement dit, c'est la manière dont l'image bouge sur notre rétine avec les mouvements de nos yeux qui fournit à notre système visuel les informations les plus pertinentes et les plus fines pour la vision.

Encore une fois, ces observations dans le système visuel s'étendent à d'autres systèmes perceptifs, mais également à la construction de concepts abstraits, comme celui des nombres et de l'espace. Ce qui amène certains chercheurs à parler de « cognition incarnée » : notre cognition, même abstraite, se construirait vraisemblablement de manière différente si notre corps et nos moyens d'interaction avec le monde étaient différents.

Conscient, non-conscient : différents modes de traitement des informations par le cerveau

Jusqu'ici nous nous sommes intéressés aux grandes caractéristiques du traitement de l'information dans le cerveau, sans nous soucier de savoir si ce traitement était conscient ou non. Or un aspect fascinant de la cognition est que, non seulement nous traitons l'information, mais en plus, ça nous « fait quelque chose » ! Quand je vois, quand je touche, quand je sens, quand j'entends, quand je réfléchis, quand je me souviens, cela me fait quelque chose.

Y a-t-il des mécanismes de traitement de l'information qui expliquent ce phénomène ?

Il est tout d'abord important de réaliser qu'il existe bel et bien un traitement « automatique », non-conscient de l'information, et qu'il occupe une grande part de notre activité cérébrale, même lorsque nous sommes éveillés. Une quantité impressionnante d'informations coexistent en permanence dans notre cerveau, mais à chaque moment nous ne sommes conscients que d'une toute petite partie de cette information. Si l'on revient à la vision, le système visuel traite toute l'information qui arrive sur la rétine, mais à chaque instant il n'y a que quelques éléments visuels que nous sommes capables de rapporter explicitement, dont nous sommes capables de dire « je le vois ». L'information visuelle peut être traitée de manière très poussée sans pour autant devenir consciente.

Un exemple est celui des images subliminales. Si l'on nous présente très brièvement une image de visage, précédée et suivie d'images différentes qui la masquent, cette image devient subliminale, c'est à dire que nous n'avons pas le sentiment de la voir, et nous affirmons même que nous n'avons rien vu. Cependant, l'enregistrement de l'activité du système visuel montre qu'il détecte la présence du visage et peut même l'identifier. Cette activité inconsciente peut influencer notre capacité à juger une image consciente qui arrive juste après : nous serons plus rapides à identifier un visage s'il est précédé par l'image subliminale du même visage.

Ce n'est donc pas parce qu'une information est traitée par le cerveau, même de manière poussée, qu'elle est nécessairement consciente.

Que se passe-t-il de plus, ou de différent, dans notre cerveau lorsque nous devenons conscients d'une information ? Peut-on isoler la physiologie de l'expérience consciente ? A première vue, cette question paraît vraiment ardue, peut-être même hors de portée de l'investigation scientifique. Pourtant, des chercheurs ont révélé que la prise de conscience d'un stimulus s'accompagnait d'événements neuronaux facilement observables avec les technologies actuelles, et reproductibles dans plusieurs conditions expérimentales.

La démarche suivie est finalement simple : on crée une situation expérimentale dans laquelle un même stimulus, lorsqu'il est présenté plusieurs fois à un individu, est perçu parfois consciemment, parfois non consciemment. Par exemple l'image d'un visage est présentée un tout petit peu plus longtemps qu'une image subliminale, de sorte qu'elle puisse être perçue consciemment, mais pas tout le temps. Donc, la stimulation extérieure ne change pas, mais l'expérience subjective change. L'expérimentateur observe ce qui change dans le cerveau lorsque l'individu dit qu'il a vu le visage, et lorsqu'il dit qu'il n'a rien vu.

Lorsque la personne dit qu'elle n'a rien vu, on observe des activations dans le cortex visuel qui témoignent du traitement inconscient de l'image. Lorsque la personne dit qu'elle a vu l'image, on observe les mêmes activations dans le cortex visuel, mais elles s'accompagnent aussi d'activations dans tout un réseau d'aires cérébrales, incluant notamment les systèmes de l'attention et de la planification. Non seulement cette information est traitée par un réseau plus vaste, mais en plus les aires de ce réseau communiquent activement entre elles et maintiennent cette information active plus longtemps que si elle était restée inconsciente.

Grâce aux avancées de la recherche dans ce domaine nous pouvons commencer à proposer un scénario plausible des mécanismes de prise de conscience dans le cerveau (illustration 4) : lorsque nous recevons une information sensorielle, elle est d'abord traitée de manière automatique et très rapide par les parties du cerveau spécialistes de cette entrée sensorielle. Si cette information n'est pas partagée et n'est pas maintenue par un réseau plus vaste, elle reste inconsciente. Mais si le système attentionnel est disponible, cette information « locale » peut être amplifiée et transmise à d'autres aires non sensorielles, permettant un partage global de cette information.

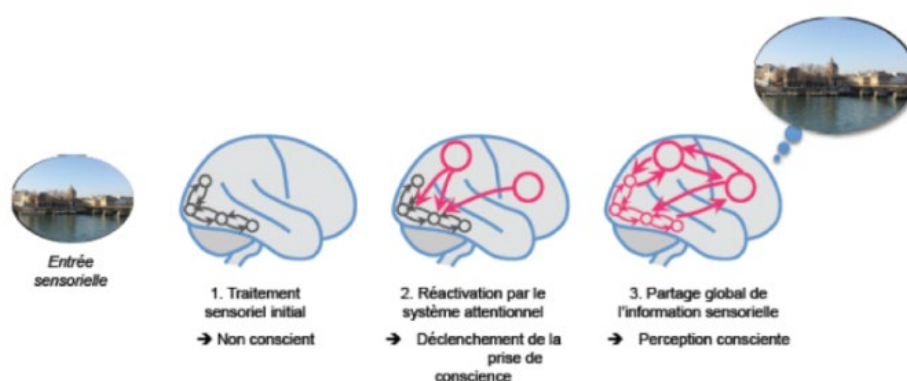


Illustration 4 : déroulement probable de la prise de conscience dans le cerveau

Ce partage global semble pouvoir rendre compte de notre expérience consciente. En effet il constitue un traitement moins automatique, plus flexible : nous sommes capables de rapporter l'information car elle peut être transmise aux aires du langage, nous pouvons décider ou non d'intégrer cette information dans les choix que nous sommes en train de faire car elle peut être transmise aux aires de la planification, etc.

Il semble donc que l'évolution ait retenu deux grands modes de traitement au sein du cerveau : un mode de traitement « inconscient » qui est automatique, rapide, très efficace et qui fonctionne en parallèle sur toutes les informations qui nous parviennent ; et un mode de traitement « conscient », plus lent, qui ne prend en compte que quelques éléments à la fois, mais qui permet de faire des opérations extrêmement flexibles et non stéréotypées, et de diriger le comportement de manière cohérente malgré la masse d'information disponible.

Une expérience révèle la coexistence de ces deux modes de traitement. L'illustration 5 présente une liste de mots. L'expérimentateur demande, non pas de lire ces mots, mais de dire la couleur de chacun des mots à haute voix et le plus vite possible. Il y a fort à parier on se trompe, ou on hésite sur le dernier mot en ayant envie de dire « vert » alors que le mot est écrit en rouge.

Libre Grand Matin Cheval Raison Vert

Illustration 5 : interférence entre traitement automatique et traitement conscient, l'effet « Stroop »

Il s'agit de l'effet Stroop (du nom du psychologue John Stroop 1897- 1973). En effet, la route la plus automatique entre le système visuel et le langage, c'est celle de la lecture : une fois que l'on sait lire, on ne peut pas s'empêcher de lire le mot. Cependant, comme ce mot n'est pas subliminal, et que l'on en est rapidement conscient, la flexibilité mentale permet de passer par une autre route, afin de transmettre aux aires du langage l'information présente dans l'aire de la couleur. Ceci permet en quelque sorte de faire l'expérience des deux temps du traitement de l'information : d'abord la route automatique inconsciente, puis la route consciente, plus lente mais aussi plus flexible.

Un cerveau, des cerveaux !

La manière dont notre cerveau traite l'information est également façonnée par l'interaction avec nos congénères. Nos échanges incessants entre nous font que le traitement de l'information devient une affaire collective. Chez les êtres humains, le traitement collectif de l'information prend une dimension tout à fait particulière à cause du langage, qui permet une précision et une diversité dans la transmission de l'information inégalées par les autres modes de communication. L'art, la culture, la technologie et la connaissance en général ne seraient pas ce qu'ils sont dans l'espèce humaine sans ces échanges d'information qui transmettent croyances et savoirs à travers le temps au fil des générations et à travers l'espace.

Comment fonctionne cette transmission d'information ? Par exemple, que se passe-t-il lorsque deux personnes doivent échanger des informations pour aboutir à une décision commune ? Un expérimentateur demande à deux personnes, qui ne se connaissent pas, de détecter une cible visuelle difficile à voir. On présente la même cible aux deux participants, mais sur deux écrans séparés. Après chaque présentation, chacun indique d'abord séparément s'il considère que la cible était présente ou non, puis ils discutent ensemble pour aboutir à une décision commune sur la présence de la cible. Les résultats sont clairs : lorsque deux participants donnent une réponse commune, ils parviennent à faire mieux que le meilleur des deux participants. De plus, la manière dont ils combinent l'information est quasi optimale : ils ne peuvent pas faire mieux.

On démontre que le langage est nécessaire : si on élimine la phase de communication directe, les individus ne parviennent plus à combiner correctement leurs réponses individuelles, car ils ne peuvent plus échanger sur leurs niveaux d'incertitude à chaque essai. Grâce au langage, deux personnes qui ne se connaissent pas parviennent spontanément à combiner leurs informations de la meilleure façon possible. Cette expérience peut également tester les limites de cette interaction : si l'on donne à l'un des deux participants une information très dégradée par rapport à l'autre, et que donc les compétences des deux individus sur la détection de la cible deviennent très différentes, alors la performance commune est moins bonne que celle du meilleur individu.

En conclusion, s'ils ont des compétences similaires sur la décision à prendre, grâce au langage, deux cerveaux valent mieux qu'un.

Références

- Bahrami, B., Olsen, K., Latham, P. E., Roepstorff, A., Rees, G., & Frith, C. D. (2010). Optimally interacting minds. *Science*, 329(5995), 1081-1085.
- Damasio, A. R. (2006). *L'erreur de Descartes : la raison des émotions*. Odile Jacob.
- Dehaene, S. (2014). *Le Code de la conscience*. Odile Jacob.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *The Journal of physiology*, 148(3), 574-591.
- Loewenstein, G., & Lerner, J. S. (2003). The role of affect in decision making. *Handbook of affective science*, 619(642), 3.
- Rucci, M., Iovin, R., Poletti, M., & Santini, F. (2007). Miniature eye movements enhance fine spatial detail. *Nature*, 447(7146), 852.
- Schwarzkopf, D. S., & Rees, G. (2013). Subjective size perception depends on central visual cortical magnification in human V1. *PloS one*, 8(3), e60550.
- Sereno, M. I., Dale, A. M., Reppas, J. B., Kwong, K. K., Belliveau, J. W., Brady, T. J., ... & Tootell, R. B. (1995). Borders of multiple visual areas in humans revealed by functional magnetic resonance imaging. *Science*, 268(5212), 889-893.
- Sergent, C., Baillet, S., & Dehaene, S. (2005). Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nature neuroscience*, 8(10), 1391.
- Sergent, C., & Naccache, L. (2012). Imaging neural signatures of consciousness: 'What', 'When', 'Where' and 'How' does it work?. *Archives italiennes de biologie*, 150(2/3), 91-106.
- Stroop, J. R. (1992). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(1), 15.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453-458.
- Yarbus, A. L. (2013). *Eye movements and vision*. Springer.
- Xu, F., & Garcia, V. (2008). Intuitive statistics by 8-month-old infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(13), 5012-5015.

Auteur

Claire SERGENT

Édition

Anne BERNARD-DELORME

Date de publication

Mai 2019

Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'utilisation commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

www.fondation-lamap.org

 **FONDATION**
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE