

L'ACTIVATION DE L'AIRE DE BROCA :
LE ROLE ESSENTIEL DE LA REENTREE CEREBRALE

Barbara Donville

EHESS

Résumé : Le modèle d'Edelman- Shannon- Poincaré s'appuie sur le processus cérébral des réentrées dont le dynamisme permet la synchronisation des groupes neuronaux dans les différentes cartes du cerveau. Pour être informativement plus varié et plus riche, le cerveau doit développer des « bruits cérébraux », car la présence de ces derniers oblige l'information cérébrale à se diversifier. S'ils constituent une contrainte qui peut mener à une mésinterprétation des messages, ils sont néanmoins fondamentaux pour l'enrichissement des informations cérébrales. Ce n'est que parce que les réentrées se complexifient que le corps accède à un espace représentatif guidé par ses sensations musculaires, lesquelles participent au sentiment d'incarnation du corps. La défaillance de l'activation de l'aire de Broca dévolue à l'articulation du langage et à la hiérarchisation des gestes, révèle la nécessité de stimuler et d'enrichir le flux informatif des réentrées cérébrales en créant des bruits cérébraux. Mais cela ne peut se mettre en place que dans la mesure où les sensations musculaires sont ressenties et vécues comme une succession capable d'orienter les gestes dans un corps qui s'oriente vers d'autres corps orientés. Ainsi l'apraxie évolue-t-elle favorablement vers une dyspraxie, la dyslexie visuelle s'atténue-t-elle et l'écriture autonome se développe-t-elle, et enfin, l'aphasie de Broca finit-elle par s'amoindrir lorsque la représentation oro-laryngée s'assouplit et que les mots commencent à sortir.

Mots-clés : Aire de Broca – Bruit cérébral - Réentrée cérébrale - Sensation musculaire

L'expérience consciente requiert l'apparition d'une mémoire catégorielle responsable de la réentrée cérébrale qui constitue le mécanisme intégrateur fondamental du cerveau. La conscience primaire émerge au cours de l'évolution lorsque, par le biais de l'apparition de nouveaux circuits médiatisant une réentrée, les aires du cerveau postérieur impliquées dans la catégorisation perceptive sont reliées de façon dynamique aux aires antérieures responsables de la mémoire, fondée sur des systèmes de valeurs. Ces moyens mis en place, un sujet devient alors capable de construire une scène cohérente, un *présent remémoré*. La réentrée est donc

un processus continu de signalisations parallèles et récursives qui a lieu entre des cartes cérébrales distinctes et passent par des connexions anatomiques massivement parallèles et pour la plupart réciproques. C'est à ce problème complexe que nous nous sommes trouvés confrontés lorsqu'il s'est agi d'activer l'aire de Broca dévolue à l'articulation du langage et à la hiérarchisation des gestes et de développer la cohérence corporelle d'un jeune garçon aphasique, apraxique, dyslexique, dystonique et autiste.

Pour permettre une évolution positive de ce jeune garçon, nous avons développé un modèle qui s'appuie sur les travaux respectifs d'Edelman, de Shannon et de Poincaré qui partait du fait qu'il était nécessaire de créer dans le cerveau du garçon des réentrées cérébrales à la fois plus nombreuses et plus riches pour que les cartes de son cerveau se connectent entre elles de manière continue. Il pourrait alors intégrer plusieurs scènes de suite de façon cohérente, ce qui permettrait le développement de plusieurs actions reliées entre elles. Pour cela, nous sommes partis des travaux de Gérard Edelman, qui définit la réentrée cérébrale comme un processus dynamique qui suscite la synchronisation des groupes de neurones dans différentes cartes du cerveau et en permet la liaison pour former des circuits capables de délivrer des informations cohérentes. Cependant, il n'y a pas d'enrichissement informatif cérébral sans la création de « bruits cérébraux », lesquels « bruits » constituent à la fois une contrainte dans la mesure où ils peuvent mener à une mésinterprétation des messages, mais aussi une richesse informative fondamentale, dans la mesure où ce n'est que lorsqu'il y a « bruit » que le flux informatif se diversifie. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur la *Théorie mathématique de la communication* de Claude Shannon visant à élaborer un système de connexions continues des réseaux téléphoniques, en établissant un parallèle avec les réentrées cérébrales qui gèrent le dynamisme du réseau neuronal. Le jeune garçon développait encore une importante dystonie et sa perception de l'espace restait toujours restreinte car il n'accédait pas au ressenti de ses sensations musculaires, essentielles pour orienter son corps dans l'espace. Or, ce n'est que parce que les réentrées cérébrales se complexifient, grâce à un flux informatif plus riche et plus varié par le biais des « bruits cérébraux », que le corps accède à un espace représentatif guidé par ses sensations musculaires. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les travaux d'Henri Poincaré pour qui l'espace géométrique est avant tout un espace représentatif guidé par nos sensations musculaires car les différentes dimensions que nous percevons dans l'espace environnant sont la conséquence des différents aspects directionnels développés par nos différents muscles qui nous permettent de nous orienter et d'entrer dans l'espace-temps. Autrement dit, il est nécessaire que les réentrées cérébrales

se développent de manière continue pour permettre la connexion des différentes cartes du cerveau entre elles, mais cela ne peut se faire que s'il y a présence de « bruits cérébraux » qui permettent, malgré les contraintes qu'ils représentent, au flux informatif, une plus grande variété et une plus grande richesse. Ce n'est qu'à ces conditions que les sensations musculaires vont être vécues comme une succession permettant de s'approprier l'espace et de faire que le corps développe un sentiment d'incarnation.

Créer des réentrées cérébrales

La réentrée cérébrale est un processus dynamique qui suscite la synchronisation des groupes neuronaux dans différentes cartes du cerveau, elle les relie pour former des circuits capables de délivrer des informations cohérentes. Les travaux de Gerald Edelman sur l'organisation neuronale formant « la matière de l'esprit » apportent une nouvelle modélisation de la conscience à partir de trois fonctions supérieures fondamentales : la mémoire, la catégorisation perceptive et l'apprentissage. Il propose une modélisation de la mémoire qui met en jeu un système fondé sur différentes représentations de catégories et de processus. Pour Edelman la mémoire ne repose pas sur des traces concrètes fixées, elle constitue une propriété dynamique de l'ensemble d'un système de catégorisations dont le mécanisme de base est la modification des efficacités synaptiques. Il bâtit une « théorie de la sélection des groupes neuronaux » (TSGN), à partir de trois principes de base : le premier qui concerne l'anatomie du cerveau et son développement, le second repose sur un mécanisme de sélection qui joue sur les processus biochimiques des connexions synaptiques, et le troisième principe, *la réentrée*, est l'élément fondamental de la biologie de la conscience. Elle permet de faire interagir et de coordonner les cartes cérébrales produites par le phénomène sélectif qui forme les deux premiers principes de la TSGN. La réentrée est l'échange de signaux le long de ces connexions. On dit que ces connexions *réentrent* dans la mesure où elles font un *va-et-vient* permanent de sorte que les connexions cérébrales entre les différentes cartes sont assurées de manière parallèle et réciproque. Dans le modèle d'Edelman il n'existe pas de carte résumant une information complexe, les cartes réagissent de façon cohérente par le renforcement des interactions et l'émission de signaux réentrants. La réentrée est donc un processus par lequel le système neuronal se prend lui-même comme objet de son activité, permettant l'apparition de propriétés émergentes. La réentrée cérébrale joue un rôle central car c'est elle qui assure l'intégration, si essentielle à la création d'une scène dans la conscience primaire. Cette intégration s'illustre par la façon dont des cartes isolées dans le cortex cérébral peuvent

fonctionner ensemble de manière cohérente même s'il n'existe pas de supercarte pour coordonner un programme déterminé de façon logique. La réentrée est donc fondamentale pour une grande variété de processus qui vont de la catégorisation perceptive à la coordination motrice.

Pour stimuler les capacités du jeune garçon à catégoriser ses perceptions pour aboutir à une coordination motrice fluide et cohérente, nous avons mis en place des exercices qui nécessitaient de reproduire un slalom entre des plots dans un premier temps puis de courir autour d'un stade dans un second temps. Il s'agissait que son éducatrice lui demandât d'accomplir les deux actions l'une derrière l'autre. Nous constatâmes alors une curieuse incapacité. S'il se montra effectivement capable d'accomplir le slalom demandé, le garçon se montra en revanche incapable de passer à la seconde tâche. Bien que comprenant parfaitement ce qui lui était demandé, il ne se représentait absolument pas ce qu'il fallait faire pour partir courir autour du stade après avoir effectué le slalom. Les connexions entre les différentes cartes cérébrales nécessitant la représentation de deux actions différentes ne se faisaient pas, il reproduisait inlassablement le slalom. La carte cérébrale qui lui permettait de voir et de reproduire le slalom ne se liait pas à celle qui lui demandait de voir encore les plots, mais de ne pas les utiliser et de courir autour du stade. S'agissait-il de connexions absentes ou bien de cartes manquantes ? Nous l'ignorons.

Les interactions réentrantes dynamiques qui se produisent par le truchement des connexions entre les systèmes mnémoniques et les systèmes dédiés à la catégorisation perceptive prennent quelques centaines de millisecondes. Des groupes de neurones fortement interactifs qui changent et se différencient les uns les autres peuvent aussi être intégrés. Ce sont leurs interactions qui font émerger l'aptitude à construire une scène et agir au sein de cette scène.

Pour permettre cette construction d'enchaînement de scènes notamment pour son activité d'écriture, nous avons demandé à la mère du garçon d'installer des miroirs dans toute la maison afin qu'il se voie agir. A cette époque, il commençait à tracer des lettres seul, mais cela lui était plus facile si on les lui dictait oralement que si on les lui faisait recopier. Sa dyslexie visuelle était très profonde, lorsqu'il écrivait une lettre il y avait toujours un petit écart entre les droites et les courbes, car sa vision avait encore des difficultés à relier les contours. La lettre la plus difficile à reproduire pour lui était le « m » car il n'arrivait pas à réaliser les ponts demandés par la forme de la lettre. Les raisons pour lesquelles le garçon

ne parvenait pas à tracer des lettres, venait du fait qu'il n'avait aucune représentation de ses actions.

Deux systèmes distincts contrôlent l'action. Le premier est un système automatique qui permet d'adapter l'action aux conditions extérieures, mais qui n'exige pas d'expérience consciente ; quant au second, il n'intervient que lorsque les capacités du système automatique sont dépassées. Il y a donc deux types de signaux provenant du système nerveux : le premier est un *signal central* qui permet d'anticiper un mouvement et le second est un *signal périphérique*, proprioceptif qui permet de réaliser le mouvement. Pour que tout cela s'exécute normalement, il faut que le système nerveux joue un rôle comparateur entre les deux types de signaux et c'est l'écart entre le mouvement anticipé et le mouvement réalisé qui est l'indice critique. Or, si l'on ne parvient pas à accomplir un mouvement dans une direction donnée, c'est que les signaux proprioceptifs sont absents et le système nerveux ne peut donc pas jouer son rôle de comparateur et, de ce fait, les signaux centraux deviennent inopérants. Le cerveau ne jouant pas son rôle de comparateur, l'échange de signaux propre aux réentrées ne se fait pas, car le processus par lequel le système neuronal se prend lui-même comme objet de son activité est absent, l'apparition des propriétés émergentes résultant du va-et-vient des connexions reste caduque.

C'était cela, entre autres, qui se produisait chez le garçon, il n'avait pas de représentation consciente implicite de ses actions. S'apercevoir en train d'agir dans un miroir était absolument épuisant pour lui car, pour la première fois, son cerveau créait la possibilité d'une représentation interne de ses actions. Jusque-là, lorsqu'on lui demandait de reproduire une lettre, puis une autre lettre, son cerveau n'était pas capable de réaliser le mouvement de formes diverses et il reproduisait inlassablement la même forme. Son cerveau n'avait enregistré qu'une seule forme d'action. Avec les miroirs, il réalisait qu'il agissait, mais il se révélait incapable d'orienter son action comme elle lui était demandée dans l'espace. Nous mêmes alors en place un exercice consistant à demander au garçon de diriger son trait de crayon vers la lumière d'une lampe électrique que sa mère plaçait à un endroit de la feuille de papier. Cela se révéla très difficile pour lui à cause de la trop grande insuffisance des signaux proprioceptifs que son système nerveux ne développait pas assez.

L'organisation du cortex cérébral est telle que, même au sein d'une seule modalité, par exemple la vision, il existe une multitude de cartes isolées du point de vue de la spécialisation ou de la fonctionnalité qui sont dédiées à différentes sous-modalités telles que la couleur, le

mouvement ou la forme. Or, malgré cette diversité nous avons conscience d'une scène perceptive cohérente. Lorsque nous voyons une scène, nous n'avons pas conscience des couleurs, des mouvements et des formes qui sont en réalité séparés et indépendants, mais nous relierons la couleur à la forme et au mouvement pour constituer une scène et des objets reconnaissables. Notre aptitude à agir de façon cohérente en présence de stimuli sensoriels divers et souvent conflictuels exige un processus d'intégration neuronale qui joue à différents niveaux d'organisation sans carte coordinatrice pour le guider. Il peut alors y avoir une liaison entre divers groupes de neurones pour le même domaine ou la même sous-modalité. C'est le cas, par exemple, des regroupements perceptifs au sein de cartes impliquées dans le sens de la couleur et celui du mouvement. A un niveau supérieur, le lien peut se faire entre des cartes différentes dont chacune est isolée ou séparée de façon fonctionnelle. Ce lien assure, par exemple, l'intégration des réponses neuronales à un contour d'objet particulier avec sa couleur, sa disposition et la direction de son mouvement.

A l'époque, le jeune garçon vivait dans un monde de voix où tout était fixe, il ne constituait pas le mouvement environnant, il voyait passer ceux qui l'entouraient d'un point A à un point B sans voir le déplacement de la personne ou de l'animal. Sa perception des couleurs était terne et floue et lorsqu'il regardait les meubles de sa maison, il n'en voyait pas les contours reliés entre eux. C'est en comprenant qu'il fallait créer des exercices pour stimuler la fonction sensori-motrice, que, petit à petit, mois après mois, les qualia du garçon, c'est-à-dire les propriétés de la perception et de l'expérience sensible constitutifs des états mentaux, se constituèrent. C'est alors qu'il témoigna d'une prise de conscience du monde changeant en permanence tant en ce qui concernait la luminance de l'environnement, qui se faisait pour lui de plus en plus intense, mais également de plus en plus nette, tant et si bien qu'un jour il décréta qu'il n'avait plus besoin de lunettes, qu'au niveau de la perception des mouvements environnants : il commença par percevoir le déplacement de ses chevaux dans le pré, la perception du déplacement des membres de sa famille vint peu après. Les différentes voies visuelles du garçon progressaient enfin grâce à une stimulation sensori-motrice de plus en plus variée..

Dans le cerveau, tout se passe comme si nous avions deux systèmes visuels. D'une part, la voie occipito-temporale qui s'intéresse à la reconnaissance des objets. Elle est donc sensible à l'identité, à la forme et à la couleur des images, mais ne s'intéresse pas à leur taille ou à leur orientation dans l'espace, et elle généralise par symétrie en miroir. D'autre part, la voie occipito-pariétale qui s'intéresse à la programmation de l'action. Pour elle, peu importe la

couleur ou la nature exacte de l'objet, seules comptent sa distance, sa vitesse et l'orientation des contours, c'est-à-dire tous les paramètres qui déterminent la manière dont nous pourrions agir sur un objet. Les trois aires sensorielles de la vision se situent dans le lobe occipital, la première étant le centre de la réception primaire, la seconde, l'aire de la perception, et la troisième, l'aire de l'interprétation. L'aire de Broca dévolue à l'articulation du langage est également impliquée dans la hiérarchisation des actions. Une déficience de la voie visuelle occipito-pariétale s'intéressant à la programmation de l'action pourrait bien avoir un lien avec la déficience de l'aire de Broca dans le domaine de la hiérarchisation des actions. Cette hiérarchisation se révèle défailante lorsque les territoires moteurs corticaux associatifs au niveau du lobe temporal, mais en relation de proximité avec les aires visuelles du lobe occipital, ne sont pas intégrés. Or l'intégration relève du rôle des réentrées cérébrales. Ce sont les territoires corticaux associatifs au niveau du lobe pariétal en relation de proximité avec les aires pariétales de la somesthésie qui autorise cette intégration et assure le déroulement normal du mouvement par reconnaissance de l'espace extra-corporel.

Activer les différentes représentations dévolues à l'aire de Broca

L'aire de Broca, dévolue à l'articulation du langage et à la hiérarchisation des actions, a des représentations motrices de type oro-facial, oro-laryngé et brachio-manuel. C'était effectivement des processus qui ne fonctionnaient pas chez le jeune garçon.

Nous avons donc commencé par mettre en place un exercice de préhension et de portage à la bouche que l'équipe de Rizzolatti avait fait effectuer aux macaques. Si nous ne nous trompons pas, le jeune garçon se montrerait incapable de réaliser ce simple exercice. Nous avons donc demandé à la mère du garçon de prendre quelque chose à manger et de le porter à sa bouche afin que le petit reproduise le geste de sa mère. Comme nous nous y attendions, le garçon se montra incapable de reproduire ce geste. Quelle que soit la personne avec laquelle il tentait l'exercice, cela revenait toujours au même : il prenait bien la nourriture, mais ne la portait jamais à sa bouche, il tendait systématiquement la nourriture à la personne qui lui faisait effectuer l'exercice. C'est en répétant tous les jours cet exercice devant une glace qu'au bout d'un mois le garçon arriva à réaliser le geste escompté.

A cette époque, en effet, le jeune garçon était absolument incapable de faire « obéir sa main », il ne pouvait pas écrire seul et son visage était sans aucune souplesse, il ne ressentait ni son visage, ni l'intérieur de sa bouche et son larynx était très peu mobile. C'est en nous appuyant sur les hypothèses émises sur les neurones miroirs par Rizzolatti et son équipe que

nous avons commencé à créer de nouvelles réentrées cérébrales. A cette époque, le cerveau du jeune garçon était encore très immature et beaucoup de cartes cérébrales étaient inactivées ou absentes, et les connexions ne se faisaient pas. Le jeune garçon présentait une aphasie de Broca. Il ne parlait pas, bien que comprenant parfaitement ce qui lui était demandé, ce qui prouvait que l'aire de Wernike était intacte. La première représentation de l'aire de Broca qui retint notre attention fut la représentation motrice brachio-manuelle. La main droite du jeune garçon ne lui obéissait pas, il était donc dans l'incapacité d'écrire seul. Nous mîmes en place des exercices visant à lui faire reproduire des formes telles que des traits ou des ronds. Comme nous nous y attendions, le garçon fut incapable de réaliser l'exercice : s'il traçait quelques traits, il ne reproduisait aucun rond.

Au fur et à mesure que le garçon faisait l'exercice des ronds et des traits que nous lui avions demandé, il se produisit plusieurs changements : le poignet du garçon, qui jusque-là avait toujours été hypotonique, pris soudainement une force nouvelle, et, par ailleurs, il commença à percevoir les contours des meubles de sa maison reliés entre eux. Nous en déduisîmes que les neurones de l'écriture étaient ceux qui permettaient également de repérer les formes de notre environnement.

L'activation de l'aire de Broca progressait : le jeune garçon, bien qu'épuisé, se mit à tracer des lettres seul et quelques mots commencèrent à sortir. J'avais demandé que l'on mît en place des séances où le petit apprendrait à respirer, à ressentir son larynx ainsi que sa langue et l'intérieur de sa bouche. La personne avec qui il travaillait obtenait des résultats édifiants, les sons commençaient à sortir. Un jour que nous étions au téléphone comme chaque semaine, j'entendis soudain : « on s'arrête » ! Mon émotion fut à son comble, j'avais la preuve que nous étions sur le bon chemin, même si celui-ci était loin d'être terminé.

Créer des bruits cérébraux pour stimuler la richesse des informations neuronales

C'est en nous appuyant sur la *théorie mathématique de la communication* de Claude Shannon visant à élaborer un système continu de connexions pour les réseaux téléphoniques en étudiant tous les types de réseaux possibles, que nous avons effectué une comparaison entre ce domaine et les réentrées cérébrales, processus de synchronisation parallèle et réciproque des groupes neuronaux entre les différentes cartes. Nous avons notamment retenu l'idée de « bruit » essentiel chez Shannon, qui correspond à une suite de comportements aléatoires

ayant la propriété singulière de pouvoir absorber un autre ensemble de bruits ou un signal surajouté.

Nous avons donc mis en place des activités autour de l'imaginaire en imposant des consignes de plus en plus exigeantes, qui, nous l'espérons, créeraient des « bruits cérébraux » qui obligeraient le cerveau du jeune garçon à s'enrichir informativement. Dans un premier temps nous avons demandé à l'aide d'un jeu comportant différentes images, que le garçon invente une histoire en utilisant les cartes proposées. Puis, lorsqu'il eut progressé, nous avons alors introduit un « bruit cérébral ». Il s'agissait que le garçon se montrât capable d'inventer deux, puis trois histoires différentes avec les mêmes cartes. Selon le modèle de Shannon, nous cherchions à vérifier si l'entropie, c'est-à-dire la capacité à créer de l'incertitude, évoluait dans la mesure où « la mesure relative au système de coordonnées » changeait effectivement. Comme nous nous y attendions, cet exercice fut extrêmement difficile pour le jeune garçon et même douloureux émotionnellement : l'entropie ne se faisait pas. Il fallut interrompre l'activité pendant un certain temps pour que son cerveau assimilât l'obligation de s'enrichir tant au niveau de la quantité que de la qualité des informations. Lorsque nous pûmes reprendre cette activité en variant les supports, nous mîmes en place un second volet d'enrichissement informatif plus varié afin de créer, nous l'espérons, des bruits cérébraux plus souples, mais plus nombreux. Pour cela, nous lui demandâmes d'écouter divers « cours de philosophie » lus et racontés par diverses personnes, de façon à ce qu'il ne reçoive plus un seul type d'informations données sous une seule forme. Là encore, si certaines lectures lui convenaient effectivement, d'autres lui étaient plus hermétiques. On sentait combien la réception d'une information offerte sous un angle qui ne lui convenait pas était douloureuse pour lui. Il percevait enfin que ce n'est pas l'information en elle-même qui compte de prime abord, mais bien la manière dont elle est délivrée, qui demande au cerveau un effort plus ou moins grand pour la comprendre et l'intégrer. Nous passâmes un certain temps ensemble pour en parler car je sentais chez lui une véritable détresse.

La théorie des réseaux de Shannon comprend le concept d'information comme n'étant pas lié à ce qui existe déjà, mais à ce qui pourrait exister et envisage la capacité d'un réseau non par son nombre de symboles, mais par la quantité d'informations transmises dans un laps de temps donné. La question de la formation de l'information est donc essentielle. Comment se forme une information ? La formation d'une information s'exprime en termes de probabilités, d'une part, probabilités de l'accession à un certain stade du processus de formation des messages, d'autre part, probabilités du choix suivant de certains symboles. On comprend que

la nature statistique des messages envoyés est entièrement déterminée par le caractère de la source. Mais le caractère statistique du signal réellement transmis par le canal, donc l'incertitude créée dans le canal, est déterminée à la fois par ce qui est fourni au canal et l'aptitude du canal à utiliser les différents signaux. Ainsi comprend-on que l'information mesure la liberté de choix d'un message, et que plus cette liberté de choisir est grande, plus l'information est riche et plus grande est l'incertitude. Ainsi, une grande liberté de choix, une grande incertitude et une information riche vont de pair.

Donc, si un « bruit » est introduit, le message reçu contient certaines distorsions et erreurs qui laissent penser que le message possède une incertitude accrue due en fait au bruit. Mais si l'incertitude est augmentée, l'information l'est aussi donc le bruit est bénéfique. En effet lorsqu'il y a bruit, le signal reçu contient plus d'information car le signal reçu est extrait d'un ensemble plus varié que le signal émis.

Nous avons maintes fois constaté que chez le jeune garçon, il y avait un problème informatif au niveau de la source. S'il recevait bien les informations environnantes, il n'était pas capable d'en émettre. Notre problème était alors d'essayer de déterminer si son cerveau avait uniquement un problème d'émission ou bien s'il s'agissait plutôt d'un problème lié à l'interprétation de l'émission, ce qui entraînait que le cerveau n'émît pas correctement et fit fausse route ce qui stoppait le processus, ou bien que son cerveau n'émît pas effectivement parce qu'il ne comprenait pas ce qu'il fallait émettre dans certains types de conditions données.

Les problèmes liés à la transmission d'un réseau peuvent être de trois ordres différents : soit il s'agit de *problèmes techniques*, auquel cas il faut déterminer l'exactitude du transfert depuis l'émetteur jusqu'au récepteur et il pourrait s'agir soit d'une transmission d'une série finie de symboles discrets, soit d'une transmission d'une fonction continue du temps, soit encore d'une transmission de plusieurs fonctions continues du temps ou d'une fonction continue du temps et de coordonnées spatiales. Soit, dans un second cas de figure, il pourra plutôt s'agir de *problèmes d'ordre sémantique* qui concernent l'identité du message ou une approximation suffisamment proche entre l'interprétation du récepteur et l'intention de l'émetteur. Enfin, il pourra s'agir dans un dernier cas de figure de *problèmes liés à l'efficacité* avec laquelle la signification convoyée jusqu'au récepteur provoque chez lui la conduite désirée. Il s'agit donc de comprendre comment toute la communication influence la conduite du receveur : ou bien la communication affecte la conduite, ou bien elle ne produit pas d'effet du tout.

Le jeune garçon avait en réalité traversé les deux derniers types de problèmes au cours des étapes de sa vie. Lorsque nous l'avons connu et qu'il était encore sévèrement apraxique, ne manifestant aucune capacité à agir seul ni avec ordre, ni, a fortiori, sans ordre, son cerveau développait des problèmes d'ordre technique qui se caractérisaient par le fait que les transferts des messages étaient non seulement inexacts mais encore enrayés : il comprenait ce qu'on lui demandait, mais il était absolument incapable de la moindre réalisation. Quand nous avons commencé à travailler avec lui les actions sur ordre, nous avons rapidement constaté qu'il y avait des problèmes d'interprétation des messages : lorsque nous avons demandé qu'il sortît son cheval du box et qu'il traversât le pré pour le mener dans la cour, il s'arrêtait au milieu de la prairie ne sachant plus ce qu'il fallait faire, son cerveau se vidant comme une batterie d'ordinateur. Au fur et à mesure de ses progrès, et de son autonomie grandissante, nous constatâmes encore des difficultés qui relevaient de l'efficacité, notamment lors des séances consacrées au développement de l'imaginaire. Son cerveau encore trop peu informatif ne créait pas encore suffisamment d'incertitude et cela l'épuisait de devoir inventer plusieurs histoires en sollicitant toujours un même support, Trop de sollicitation en ce sens provoquait des crises d'angoisses.

Dans le cas d'un réseau continu, la source d'information choisit le message désiré parmi une série de messages possibles, et l'émetteur transforme ce message en signal qui est alors envoyé au canal de communication de l'émetteur au récepteur (qui est en quelque sorte un émetteur inversé) qui change le signal reçu en message et amène ce message à destination. Cependant, l'action de l'émetteur qui transforme le message en signal implique un processus de codage. Quelles sont les caractéristiques d'un processus de codage efficace ? Et lorsque le codage est aussi bon que possible, quelle quantité d'information peut être convoyée par le canal ?

Nous avons bien souvent été confrontés à ce problème avec le jeune garçon qui manifestait un grand épuisement lorsque la quantité et la qualité informative que nous tentions de lui faire passer avec de nouvelles activités étaient d'emblée trop riches pour lui. Il fallait toujours un laps de temps pour que son cerveau se familiarisât avec cette nouvelle richesse informative.

Comme nous l'avons dit, l'introduction de bruits au sein d'un réseau, bien que source de perturbation, est cependant bénéfique car source d'entropie et de diversification. Il est donc essentiel de produire des bruits les plus bénéfiques possibles, mais également de comprendre

comment le bruit va affecter l'exactitude du message finalement reçu, paramètre qu'il n'est pas toujours possible de mesurer. Enfin, comment peut-on diminuer les effets indésirables du bruit et jusqu'à quel point doivent-ils être éliminés ?

Enrichir les réentrées cérébrales pour diversifier la fabrication des idées

Dans *La science et l'hypothèse*, ainsi que dans *La valeur de la science*, Poincaré développe l'idée que l'espace géométrique est avant tout un espace représentatif constitué par nos sensations musculaires, et que les dimensions que nous percevons sont les conséquences des différents aspects directionnels présentés par nos différents muscles. Nos muscles sont donc ce qui nous permet non seulement d'orienter nos gestes, mais également d'entrer dans l'espace et le temps car ce sont les sensations musculaires qui donnent au corps la conscience d'un ressenti déjà vécu ou bien d'un ressenti qui n'a pas été encore éprouvé. Les sensations musculaires participent au sentiment d'incarnation du corps. C'est parce que le corps est orienté par les sensations musculaires qu'il peut les hiérarchiser et qu'elles vont s'intégrer dans les trois dimensions de l'espace-temps. L'espace est donc représentatif de nos différentes sensations dans trois domaines différents, visuel, tactile et moteur qui sont différents de l'espace géométrique. L'espace représentatif découlant de nos sensations n'est qu'une image de l'espace géométrique. « *Nous ne nous représentons pas les corps extérieurs dans l'espace géométrique, mais nous raisonnons sur ces corps, comme s'ils étaient situés dans l'espace géométrique* », écrit Poincaré. Si nous localisons les objets, c'est que nous nous représentons le mouvement qu'il faut faire et donc la sensation que ce mouvement engendre.

Dans l'activité de construction que nous avons mise en place pour le jeune garçon, où il s'agissait dans un premier temps de construire en trois dimensions une voiture ou un avion à l'aide d'un modèle, nous avons constaté plusieurs difficultés : d'une part, il n'arrivait pas à concevoir les différentes étapes à effectuer, il ne les voyait pas, sa vision restait trop globale, et d'autre part, lorsqu'il s'agissait de placer symétriquement les roues d'une voiture par exemple, il se montrait incapable, non seulement de les placer symétriquement, mais encore de se rendre compte s'il changeait ou non de côté ou s'il plaçait toutes les roues du même côté. Il ne percevait pas les différentes étapes à franchir pour construire la voiture, car les sensations musculaires de son propre corps n'étaient pas perçues par lui en succession, pas plus que la symétrie ne faisait pas partie de sa représentation interne. Ne situant pas ses propres sensations musculaires, il ne développait pas de manière interne l'idée d'orientation de son corps et ne pouvait donc pas orienter un autre corps. Nous mêmes donc en place le

même type d'exercice, mais sur un objet à deux dimensions dans l'espoir qu'il arriverait à distinguer les étapes et qu'il finirait par situer correctement les éléments à placer sur l'objet à construire. Mais cela se révéla insuffisant.

L'idée que nous nous faisons de l'espace vient de ce que nous sommes amenés par nos sensations à ressentir leur succession. C'est parce que nous avons conscience de ces successions, que nos impressions sont sujettes aux changements ; et ces changements que nous constatons nous conduisent à faire des distinctions : les objets peuvent soit changer d'état, soit changer de position ou bien encore être déplacés.

Si le garçon s'était effectivement montré incapable de se rendre compte s'il plaçait les quatre roues de la voiture du même côté ou non, c'était bien parce que dans son corps la succession des sensations musculaires permettant d'orienter et donc de latéraliser son corps ne se faisait pas correctement. Parallèlement à cette activité de construction, nous mîmes en place une séance de motricité visant à développer la conscience des sensations musculaires. Il s'agissait avec des poids divers de repérer le lourd, le léger mais également l'identique. Nous demandâmes à l'éducatrice en charge de cette activité de poser sur le garçon différents types de poids comme des sacs de sable et des pelotes de laine à différents endroits de son corps afin de vérifier s'il mesurait que tel élément était plus lourd ou plus léger qu'un autre ; nous demandâmes également qu'elle posât des poids identiques à divers endroits de son corps pour voir si le garçon était capable de percevoir la similitude du poids alors que la situation corporelle différait : un sac de sable sur le bras droit et un autre sur le pied gauche par exemple.

Il faut que le ressenti des sensations musculaires soit suffisamment développé pour orienter le corps comme un objet-repère qui va permettre d'orienter à son tour les autres corps environnants ; il faut donc pour cela distinguer les conséquences des différents types de changements.

Qu'un objet change d'état ou seulement de position cela se traduit toujours pour le sujet de la même manière : par une modification dans un ensemble d'impressions. Comment sommes-nous amenés à les distinguer ? S'il y a seulement changement de position, nous pouvons restaurer l'ensemble primitif d'impressions en faisant des mouvements qui nous replacent vis-à-vis de l'objet mobile dans la même situation relative. Nous corrigeons ainsi la modification qui s'est produite et nous rétablissons l'état initial par une modification inverse. Or, pour

pouvoir procéder ainsi, il faut avoir conscience des ressentis successifs qu'engendrent les sensations musculaires.

Pendant longtemps, le jeune garçon avait été hémi-négligent, ce n'est que récemment que ses qualia, c'est-à-dire les propriétés de la perception et de l'expérience sensible constitutifs des états mentaux, s'étaient développées, que les couleurs, les formes, la luminance de l'environnement avaient changé. Avec les exercices que nous donnâmes pour développer ses sensations musculaires non seulement son corps s'orienta plus facilement et l'activité de construction fit de nets progrès tant dans la construction en deux dimensions qu'en trois dimensions, mais encore, la qualité de son toucher se modifia. Il eut le sentiment que les choses avaient une nouvelle consistance lorsqu'il les palpait.

La vue et le toucher ne peuvent pas donner de notion d'espace sans le concours de sensations musculaires. Cette notion peut dériver d'une sensation unique, mais également d'une suite de sensations. Un être immobile ou qui n'a pas de mouvements volontaires, ne peut pas acquérir ce sentiment de sensations successives, dans la mesure où il ne peut pas corriger par ses mouvements les effets de changements de positions des objets extérieurs car il n'a aucune raison de les distinguer des changements d'état.

Nous sommes donc amenés à distinguer deux catégories de phénomènes : les uns involontaires, car non accompagnés de sensations musculaires, que nous attribuons aux objets extérieurs : les changements externes. Les autres, qui s'opposent aux premiers car ils sont volontaires et que nous attribuons aux mouvements de notre propre corps : les changements internes. Ainsi, se trouve définie, grâce une classe particulière de phénomènes que nous appelons *déplacements*. Ce sont les lois de ces phénomènes qui font l'objet de la géométrie. Notre expérience est donc indispensable à la constitution de cette géométrie qui nous entoure. Nos expériences, quelles qu'elles soient, comportent toujours une interprétation géométrique et c'est par le ressenti des sensations musculaires vécues comme des successions diverses et variables, que cette géométrie se constitue, et donne naissance aux mouvements orientés par un corps orientable vers d'autres corps orientés.

A la lumière des observations que nous offre l'évolution de ce jeune garçon, dont l'apraxie a très largement évolué en dyspraxie, et dont l'aphasie a notablement reculé par le développement de son *cerveau volontaire*, grâce au travail sans relâche de l'équipe qui l'entoure pour activer son aire de Broca, nous comprenons combien la réentrée cérébrale qui assure l'intégration si essentielle à la création d'une scène dans notre conscience est

également indispensable à une grande variété de processus qui vont de la catégorisation perceptive à la coordination motrice dont dépendent la hiérarchisation des actions et l'articulation du langage. L'aire de Broca, structure cérébrale propre à l'homme, est effectivement responsable de la hiérarchisation des gestes nécessaire pour accomplir une tâche. Cette capacité à hiérarchiser les comportements permet de développer le langage parallèlement à la manipulation de plus en plus variée des outils qui nous entourent. Mais cela ne peut se faire que si nous ressentons nos sensations musculaires comme une succession nous permettant d'orienter les gestes de notre corps orientable vers d'autres corps orientés. Un flux continu toujours plus informatif permettant d'incessantes réentrées cérébrales parallèles et réciproques, créateur de réseaux de plus en plus variés tant qualitativement que quantitativement, entraînant la générativité de bruits cérébraux dont les divers obstacles sont indispensables à l'enrichissement de l'information cérébrale, est absolument nécessaire. Ainsi que nous l'a fait comprendre l'évolution de l'activation de l'aire de Broca, « *nous parlons comme nous taillons un silex* », selon l'expression de Thierry Chaminade, parce que, comme disait Anaxagore : « *L'homme pense parce qu'il a une main* ».

BIBLIOGRAPHIE

- Gerald M. Edelman et Giulio Tononi, *Comment la matière devient conscience*, Editions Odile Jacob, 2000
- Gérard Edelman *Biologie de la conscience* Editions Odile Jacob 1992
- Stanislas Dehaene *Les neurones de la lecture* Editions Odile Jacob 2007
- Henri Poincaré *La science et l'hypothèse* Editions Champs sciences Flammarion 1968
- Henri Poincaré *La valeur de la science* Editions Champs sciences Flammarion 1970
- Shannon et Weaver *Théorie mathématique de la communication* Editions Retz 1974
- Giacomo Rizzolatti et Corrado Sinigaglia *Les neurones miroirs* Editions Odile Jacob 2008
-
- Thierry Chaminade *Parler comme on taille un silex* in *La Recherche* Juin 2013