

Or, dans la tâche proposée, le participant ne parle pas : pourquoi l'aire du langage est-elle activée ? Nous pensons qu'il s'agit de la trace d'un « langage intérieur » régulateur, intimement lié au raisonnement déductif : lorsque l'on est confronté à une tâche logique, on « se parle » pour la résoudre. Ce langage régulateur est sans doute lié ici à l'activité d'inhibition du traitement perceptif. En fait, dans le cortex préfrontal inférieur gauche, langage, logique et inhibition semblent étroitement liés ; la logique déductive exige, dans un cas comme celui qui nous préoccupe, l'inhibition de la perception, c'est-à-dire une abstraction.

Enfin, la pré-aire motrice supplémentaire (pré-AMS), dont on sait qu'elle participe à la sélection d'une réponse motrice en situation de compétition, est activée, car elle assure l'inhibition de la réponse d'appariement perceptif direct (carré rouge à gauche et cercle jaune à droite) et la sélection, avec la souris de l'ordinateur, de deux formes logiquement correctes (carré vert à gauche et losange bleu à droite).

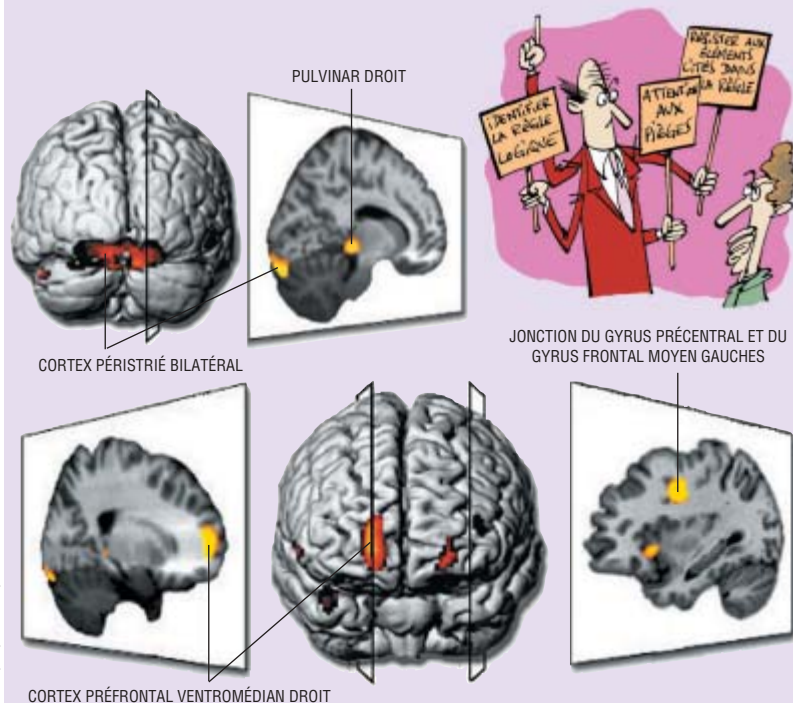
Quant aux autres régions, plus postérieures, notons que le gyrus parahippocampique est très certainement lié à la mémorisation des instructions de l'apprentissage, et le pulvinar, ainsi que le cortex péristrié, au filtrage des informations visuo-spatiales non pertinentes (carré rouge et cercle jaune). On sait qu'une lésion du pulvinar entraîne un déficit spécifique de cette fonction de filtrage.

La nouveauté introduite ici par l'imagerie cérébrale fonctionnelle est d'avoir démontré, pour la première fois, non seulement que les biais de raisonnement ont un support matériel, mais surtout que le cerveau humain, sous certaines conditions d'apprentissage, est capable de surmonter un tel biais. Toutefois, cette première expérience ne permet pas de dissocier, dans l'impact neuronal de l'apprentissage, ce qui relève spécifiquement de la composante exécutive (c'est-à-dire des alertes qui apprennent à inhiber le biais), de ce qui relève de la logique incluse dans toute tâche de raisonnement déductif.

Apprentissage froid et apprentissage émotionnel

Nous avons alors réalisé une nouvelle expérience d'imagerie cérébrale, toujours avec la technique de la tomographie par émission de positons, mais cette fois avec un groupe de personnes soumises seulement à la condition d'explication logique (et non plus à la condition d'apprentissage de l'inhibition de la stratégie perceptive). La condition d'apprentissage était strictement identique à celle de l'étude précédente, mais les alertes (les mises en garde des pièges, notamment) ont été enlevées de façon à soustraire la composante d'apprentissage de l'inhibition. Dans ces conditions, seule restait l'explication logique de la tâche, c'est-à-dire une condition que nous avons baptisée « apprentissage froid » par opposition au caractère émotionnel des alertes de l'apprentissage de l'inhibition.

Dans cette nouvelle expérience, nous voulions déterminer l'image correspondant à l'émotion seule. Nous disposons, par les expériences précédentes, de l'image correspondant à la somme de l'apprentissage à la logique et de la composante émotionnelle. En faisant ensuite la différence des deux, on devait isoler les signaux « émotionnels » spécifiques dus aux alertes émises lors de l'apprentissage de l'inhibition. Dès lors, on compare les



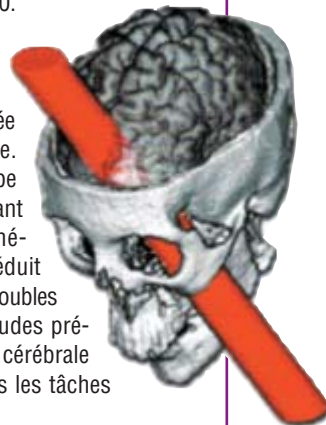
O. Houdé, GIN, UMR 6095, CNRS/CEA

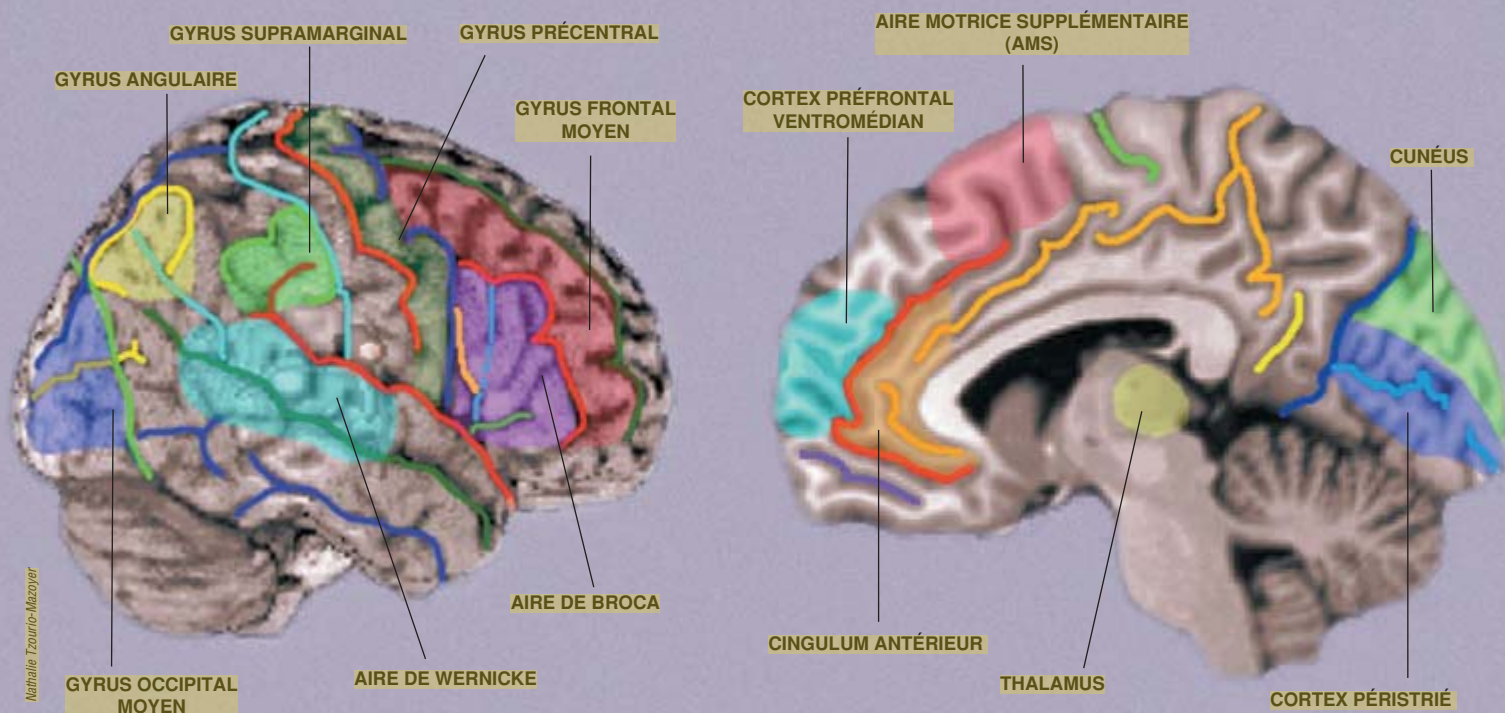
5. LES IMAGES obtenues par tomographie par émission de positons confirment que l'émotion joue un rôle important dans l'apprentissage, notamment lorsqu'il s'agit d'apprendre à corriger les erreurs de raisonnement. Ces cartographies de l'activation cérébrale ont été enregistrées sur des personnes ayant reçu l'apprentissage de l'inhibition de la stratégie perceptive, comparées aux personnes n'ayant reçu que l'apprentissage logique. Elles révèlent que certaines zones sont spécifiquement activées chez les sujets qui subissent le premier type d'apprentissage (chez les personnes recevant un apprentissage strictement logique et « froid », ces zones ne sont pas activées). Il s'agit du cortex préfrontal ventromédian droit, de la jonction des gyrus précentral et frontal moyen gauches, du pulvinar droit et du cortex péristrié bilatéral.

Un accident plein d'enseignements

En septembre 1848, Phineas Gage travaillait à la construction d'une voie ferrée en Nouvelle-Angleterre ; il fut victime d'une explosion au cours de laquelle une barre à mine de près de deux mètres de longueur lui transperça le crâne et le cerveau. Il survécut et, très rapidement après l'accident, Gage retrouva sa motricité, ses capacités linguistiques, sa mémoire et son intelligence générale. Toutefois, malgré cet apparent retour à la normale, il devint très vite irresponsable, grossier et capricieux, alors qu'il était auparavant responsable, socialement bien intégré et apprécié. Tout se passa comme s'il ne ressentait plus les émotions qui lui permettaient, avant son accident, de choisir les comportements appropriés. Il perdit son emploi et passa les 12 années qui suivirent à vagabonder, à s'exhiber dans un cirque, avant de mourir en 1860.

Dans les années 1990, à partir du crâne de Gage conservé à l'Université de Harvard, Hanna et Antonio Damasio ont reconstitué, grâce aux techniques d'imagerie assistée par ordinateur, le trajet de la barre à mine. Le résultat de cette autopsie d'outre-tombe est que Gage présentait des lésions touchant notamment le cortex préfrontal ventromédian droit. L'équipe d'A. Damasio en a déduit qu'une lésion de cette région provoque des troubles des émotions et du raisonnement. Les études présentées ici renforcent l'idée que cette aire cérébrale participe aux émotions mises en jeu dans les tâches de déduction logique pure.





6. UNE MODIFICATION DE L'ACTIVITÉ CÉRÉBRALE lors de l'apprentissage de l'inhibition a été mise en évidence par les auteurs. Dans les tests proposés, l'activité est plutôt localisée, avant l'apprentissage, dans les régions occipito-temporales (gyrus lingual gauche et gyrus fusiforme bilatéral ou aire visuelle V4), occipito-pariétales (gyrus occipital moyen bilatéral, cunéus droit, gyrus angulaire gauche, ou GA, et gyrus supramarginal bilatéral, ou GSM) et, enfin, temporales (gyrus temporal moyen gauche, gyrus temporal supérieur gauche ou aire de Wernicke). Toutes ces régions sont plus activées avant l'apprentissage qu'après. Au contraire, après l'apprentissage, on constate une reconfiguration de

l'activité cérébrale qui passe des régions postérieures dédiées en grande partie à la perception des mots, des formes, des couleurs et de l'espace, à des régions préfrontales, davantage liées aux émotions, à l'inhibition et à la logique. Les zones activées sont alors essentiellement, à droite, le cortex préfrontal ventromédian, le cingulum antérieur et, à gauche, le gyrus frontal moyen, le gyrus frontal inférieur (l'aire de Broca), l'insula antérieure, l'aire pré-AMS et le gyrus parahippocampique. On note aussi une activation bilatérale du cortex péristrié impliqué, avec le pulvinar (une région du thalamus), dans le filtrage visuel des informations. En couleur, les sillons qui séparent les territoires cérébraux.

résultats obtenus sur un groupe de participants soumis à l'apprentissage de l'inhibition (groupe inhibition) et un groupe soumis à l'apprentissage logique (groupe logique) et l'on fait la différence des deux.

Du point de vue comportemental, les résultats obtenus ont confirmé ceux de nos expériences psychologiques antérieures, à savoir que l'apprentissage strictement logique est inefficace, les participants continuant à se tromper, dans 90 pour cent des cas, après l'apprentissage. Cet apprentissage, trop «froid», ne déclenche pas une remise en question de la stratégie initiale de raisonnement ni la correction des erreurs perceptives.

Raison et émotion

Par la tomographie par émission de positons, nous avons montré que certaines zones sont spécifiquement activées dans le groupe ayant subi l'apprentissage de l'inhibition et qui, après cet apprentissage, réussit la tâche dans 90 pour cent des cas. Ces zones sont le cortex préfrontal ventromédian droit, la jonction des gyrus précentral et frontal moyen gauches, le pulvinar droit et le cortex péristrié bilatéral. Ces aires ne sont pas activées chez les participants qui reçoivent l'explication logique et qui persistent dans l'erreur (voir la figure 5).

Au regard de ces nouveaux résultats, plus circonscrits que les précédents, rappelons que, depuis le cas de Phineas Gage au XIX^e siècle jusqu'aux patients suivis aujourd'hui

par Antonio Damasio, à l'Université de l'Iowa, les données neuropsychologiques indiquent qu'une lésion du cortex préfrontal ventromédian droit provoque des troubles du raisonnement, de la prise de décision, des émotions et du «sentiment même de soi», selon l'expression d'A. Damasio. C'est en référence à ces données cliniques que ce dernier a suggéré que le bon usage de la raison, en particulier de la logique, dépend des émotions et du sentiment de soi. Selon lui, dans le fonctionnement normal, les émotions interviennent dans le raisonnement, notamment lors des tâches à connotation personnelle ou sociale qui impliquent des risques et des conflits. Toutefois, A. Damasio n'a jamais démontré l'implication directe du cortex préfrontal ventromédian droit dans une tâche de pure logique déductive, réellement cartésienne, réalisée par des sujets neurologiquement sains.

Compte tenu de la structure spécifique de la procédure d'apprentissage utilisée dans nos expériences, tout porte à croire que cette région du cerveau est ici impliquée dans l'émotion et le «sentiment même de soi» associés à la prise de conscience de l'erreur de raisonnement et au conflit qui naît entre perception et logique déductive. Autant d'éléments «infralogiques», déclenchés par les alertes de l'apprentissage, qui semblent indispensables pour inhiber le biais d'appariement perceptif, comme en atteste l'absence systématique d'activation du cortex préfrontal ventromédian droit chez tous les individus du groupe logique avec apprentissage «froid», où l'erreur n'est pas corrigée.

Du point de vue de la psychologie évolutionniste, ce résultat neurofonctionnel est à rapprocher du rôle classiquement imputé à l'émotion dans la survie, à savoir que la peur face à un danger conduit les animaux, dont l'homme, à fuir et à l'éviter. On peut dès lors avancer, en termes darwiniens, que l'évolution a dû façonner un cerveau qui ressent des émotions nécessaires pour inhiber les comportements inadaptés, y compris lorsqu'il s'agit de logique déductive. Contrairement à ce que pensait Piaget, le cerveau humain n'est pas, à l'image d'un ordinateur, un calculateur froid et logique.

Les résultats de cette seconde expérience d'imagerie cérébrale, associés à ceux de l'équipe d'A. Damasio, indiquent que l'émotion peut aider le raisonnement. L'un des rôles essentiels de l'hémisphère droit, fortement impliqué ici, résiderait dans le «traitement spatial des émotions», c'est-à-dire dans une sensibilité aux relations entre les émotions qui détermine le comportement approprié à une situation particulière.

De l'imagerie cérébrale à la pédagogie

Soulignons que ces résultats ne sont que les tout premiers sur les bases cérébrales de la correction d'erreurs et du changement de stratégie dans le raisonnement humain. Toutefois, ils apportent déjà quelques éléments de réponse aux trois questions clés débattues en psychologie cognitive du raisonnement : raisonnons-nous logiquement ? Pourquoi commettons-nous des erreurs de raisonnement ? L'émotion peut-elle aider le raisonnement ? À propos des deux premières questions, nous avons

constaté que, dans certains cas, le cerveau fonctionne spontanément à l'économie, en recrutant par exemple un réseau neuronal fortement ancré dans la perception, ce qui démontre la matérialité des biais de raisonnement. L'imagerie cérébrale a ici permis de comprendre comment le cerveau humain, si sophistiqué soit-il, peut commettre des erreurs de logique. Nos résultats ont également conduit à découvrir la plasticité du cerveau, en l'occurrence sa capacité à inhiber un biais de raisonnement pour accéder à la logique déductive : pour que nous raisonnions correctement, des stratégies d'inhibition du fonctionnement «spontané» du cerveau doivent se mettre en place. Il s'agit de la démonstration neuronale de la flexibilité intellectuelle. Quant à la dernière question, celle du rôle de l'émotion, on y répond en montrant que certaines régions cérébrales dédiées aux émotions et au sentiment de soi participent à l'inhibition d'un biais de raisonnement, ce qui permet d'accéder à la logique.

Comme l'a récemment souligné Mark Johnson, de l'Université de Londres, les nouvelles données d'imagerie cérébrale fonctionnelle sur l'apprentissage chez l'adulte nous apportent des indications intéressantes sur les mécanismes qui sont sans doute à l'œuvre dans le développement neurocognitif de l'enfant. De ce point de vue, les résultats exposés ici nous conduisent à tenir compte, en psychologie de l'enfant et en pédagogie, de deux mécanismes sous-estimés par la théorie de Piaget : l'inhibition des stratégies compétitives et l'émotion, indispensables au cerveau pour qu'il corrige ses erreurs de raisonnement.

Olivier HOUDÉ, professeur de psychologie cognitive à l'Université Paris-5 (Sorbonne) et à l'Institut universitaire de France (IUF), est responsable de l'équipe Développement et fonctionnement cognitifs dans le Groupe d'imagerie neurofonctionnelle, UMR 6095, CNRS-CEA, Universités de Caen et Paris-5, dirigé par Bernard MAZOYER, et où travaillent également Sylvain MOUTIER, Laure ZAGO et Nathalie TZOURIO-MAZOYER.

Antonio DAMASIO, *L'erreur de Descartes*, Éditions Odile Jacob, 1995.

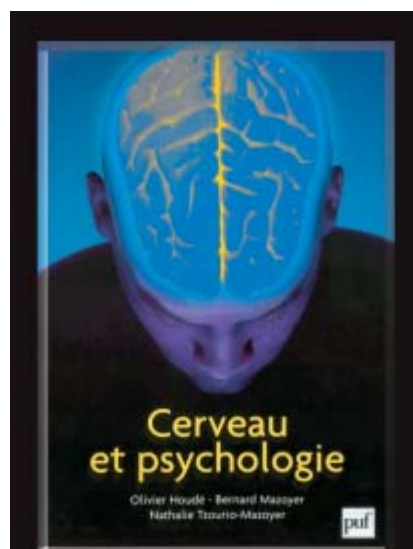
Antonio DAMASIO, *Le sentiment même de soi : Corps, émotions, conscience*, Éditions Odile Jacob, 1999.

Olivier HOUDÉ, *Inhibition and cognitive development : Object, number, categorization, and reasoning*, in *Cognitive Development*, vol. 15, pp. 63-73, 2000.

Olivier HOUDÉ et al., *Shifting from the perceptual brain to the logical brain*, in *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 12, pp. 721-728, 2000.

Olivier HOUDÉ et al., *Access to deductive logic depends on a right ventromedial prefrontal area devoted to emotion and feeling*, in *NeuroImage*, vol. 14, pp. 1486-1492, 2001.

Olivier HOUDÉ, Bernard MAZOYER et Nathalie TZOURIO-MAZOYER, *Cerveau et psychologie*, PUF, 2002.



614 pages - 28 €

"La première synthèse française des données d'imagerie cérébrale et de psychologie expérimentale.

Splendides images.

Un ouvrage qui a sa place dans la bibliothèque de tout homme cultivé.

Indispensable à lire et à méditer."

Jean-Pierre Changeux,
La Recherche

"Une brillante réussite.

L'ouvrage est cohérent, le style clair et précis, les références toujours pertinentes."

Michel Imbert,
Pour la science

"Tous ceux qui s'intéressent aux énigmes du cerveau apprécieront l'exhaustivité de l'ouvrage."

Kheira Betayeb,
Science et vie

"Un événement !"

Hervé Ponchelet,
Le Point

"Un livre très richement illustré. Une référence."

Impact Médecin

puf