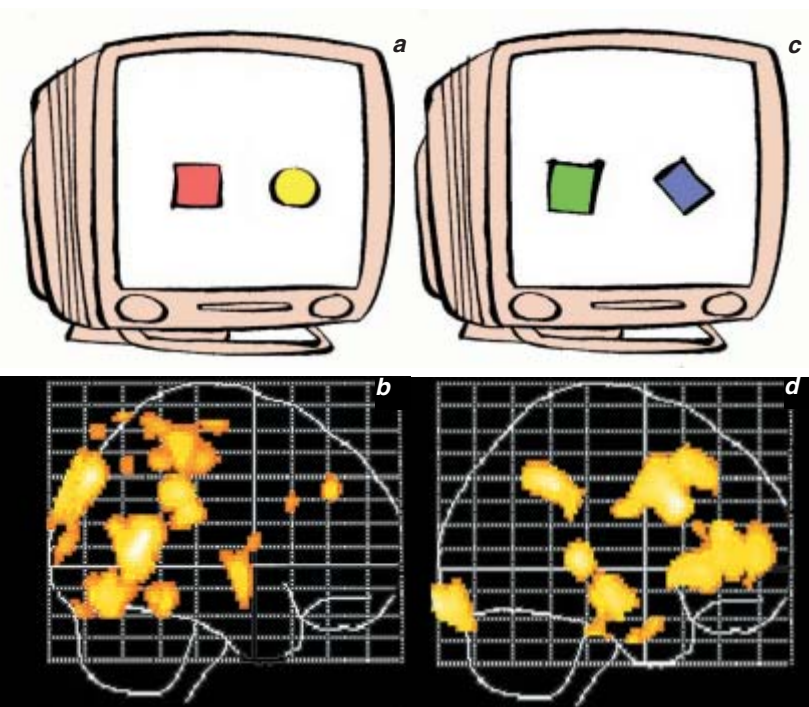




4. L'APPRENTISSAGE de l'inhibition des erreurs de raisonnement se traduit par une modification du débit sanguin cérébral. Lorsque les sujets se trompent quand on leur demande de rendre fausse la règle logique : «S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite» (a, mauvaise réponse), le débit sanguin est plus élevé dans les régions postérieures et perceptives du cerveau (b). Quand ils ont appris à inhiber leur erreur (c, bonne réponse), le débit sanguin est modifié, les régions antérieures (préfrontales) étant davantage activées (d).

figure 6). En comparant les images du cerveau avant et après apprentissage, on constate que certaines régions sont plus activées avant l'apprentissage. En faisant la soustraction des images obtenues avant apprentissage et après, on met ainsi en évidence les aires qui seront spécifiquement inhibées par l'apprentissage.

Ce réseau neuronal postérieur, impliqué dans les fonctions perceptives, démontre, pour la première fois, que les biais de raisonnement et les erreurs de logique ont des bases cérébrales. Aujourd'hui, on peut savoir, grâce à l'imagerie cérébrale fonctionnelle, ce qui se passe dans le cerveau humain quand il se trompe.

Ainsi, nous pensons que l'activation de la partie postérieure des gyrus temporaux moyen et supérieur gauches (l'aire de Wernicke) et du gyrus angulaire gauche correspond à la lecture silencieuse de la règle. Toutefois, lors de cette lecture, le sujet se focalise trop sur les mots qui évoquent les formes colorées (le carré rouge et le cercle jaune, par exemple), de sorte que ces régions du cerveau sont plus activées avant l'entraînement qu'après. Ce résultat est particulièrement intéressant, car J. Evans avait fait l'hypothèse selon laquelle, quand nous découvrons un texte lu, dans la vie courante, nous nous focalisons, en présence d'une négation, sur la proposition qui est niée : nous ne retenons que la chose à éviter dans les interdictions (ne pas prendre la première à droite), ou l'objet qui n'est pas disponible (il ne reste plus de glace à la vanille).

De même, l'aire visuelle V4 sur la voie ventrale, spécifiquement impliquée dans la perception de formes colorées, serait activée par une focalisation «visuelle» sur les deux formes, ce qui aboutirait à leur sélection systématique

et erronée (on se focalise sur les deux formes et sur les deux couleurs en oubliant les consignes véhiculées par la règle logique). À cela s'ajoute la participation des régions occipito-pariétales de la voie dorsale, connues pour leur rôle dans le traitement perceptif de l'espace, en l'occurrence lorsqu'il faut distinguer la gauche de la droite. Puisque la règle logique fait appel à ces notions, il n'est pas étonnant que ces aires soient activées. On verra que le traitement logique de ces mêmes relations active, après l'apprentissage, d'autres régions du cerveau.

Autant d'éléments qui nous montrent que, dans une tâche de logique déductive, notre cerveau fonctionne spontanément à l'économie, c'est-à-dire en recrutant un réseau situé dans sa partie arrière, fortement impliqué dans la perception des mots, des formes et de l'espace, plutôt qu'en activant des régions préfrontales. Ceci explique pourquoi nous pouvons commettre des erreurs, tout en croyant répondre correctement. Ainsi, il existe bien une réalité biologique de l'«irrationalité», mais, ici, ce fonctionnement à l'économie, souvent efficace, est inadapté, car il s'agit d'une tâche de logique déductive et non d'appariement perceptif.

La correction des erreurs

Dans nos expériences, on enregistre des images par la caméra à positions avant et après l'apprentissage. Or, après l'apprentissage de l'inhibition de la stratégie perceptive, les participants donnent une réponse logique pour plus de 90 pour cent des tests. La comparaison des régions du cerveau qui sont plus activées après que le participant a appris à inhiber le biais de raisonnement qu'avant révèle, pour les mêmes individus soumis à la même tâche, l'activation d'un nouveau réseau neuronal préfrontal. Plus précisément, les régions activées correspondent à des zones hétéromodales (plusieurs sens sont traités) et à des zones paralimbiques, liées aux émotions (voir les figures 4 et 5). Chaque composante neuroanatomique du réseau activé peut être mise en relation avec une composante psychologique des mécanismes utilisés lorsqu'on apprend à inhiber le biais d'appariement perceptif et que l'on améliore l'accès à la réponse logique.

Ainsi, à droite, le cortex préfrontal ventromédian et le cingulum antérieur sont impliqués dans les rapports entre émotion et raisonnement, lorsque l'on prend conscience de ses erreurs et lorsque se manifestent des conflits entre les réponses possibles (ici l'erreur d'appariement résultant d'un conflit entre la perception et la logique). On reviendra sur ce point en analysant les résultats d'une autre expérience décrite ultérieurement.

Par ailleurs, à gauche, le gyrus frontal moyen, siège de la mémoire de travail, est activé (les informations sont stockées temporairement dans cette partie de la mémoire). Cette activation est imputable, après l'apprentissage, à la manipulation logique des propriétés des objets (formes et couleurs) et de l'espace (à gauche et à droite) ; avant l'apprentissage, le traitement perceptif direct l'emporte sur le traitement logique. Avec l'apprentissage, la stratégie change, le traitement perceptif spontané étant inhibé au profit d'un raisonnement logique. En atteste l'activation de la partie antéro-inférieure du gyrus frontal moyen, connu pour son rôle dans l'inhibition. Enfin, on constate que le gyrus frontal inférieur gauche, qui recouvre l'aire de Broca (l'aire du langage) est activé ainsi que l'insula antérieure gauche.

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).

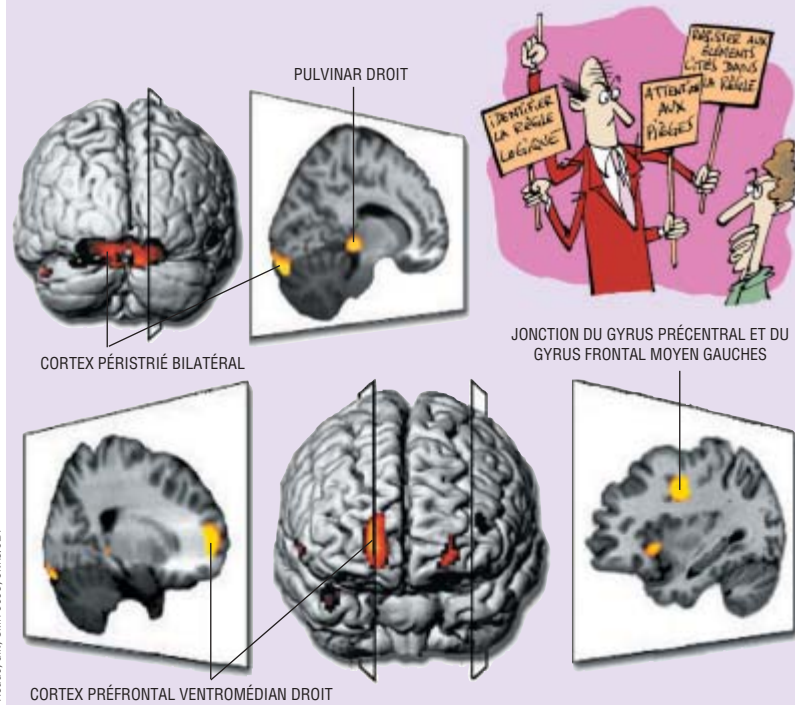
Quant aux autres régions, plus postérieures, notons que le gyrus parahippocampique est très certainement lié à la mémorisation des instructions de l'apprentissage, et le pulvinar, ainsi que le cortex péristrié, au filtrage des informations visuo-spatiales non pertinentes (carré rouge et cercle jaune). 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.

