



M **arc JEANNEROD**

Marc Jeannerod est professeur à l'Université Claude Bernard de Lyon-I. Il a été, jusqu'à récemment, directeur de l'Institut des sciences cognitives.

Il est l'auteur de plusieurs ouvrages, dont *la Nature de l'Esprit*, *De la physiologie mentale, histoire des relations entre biologie et psychologie*, et avec Jacques Hochmann, *Esprit où es-tu ? Psychanalyse et neurosciences*.

Il est également l'auteur de l'exposition « Le cerveau intime » qui s'est tenue à la Cité des Sciences et de l'Industrie.

Il a été lauréat du Prix Jean Rostand 2003 pour son livre « *Le Cerveau intime* », Editions Odile Jacob et la Cité des Sciences et de l'Industrie.

Cerveau et activité cognitive
Succès et limites des neurosciences

Je vous remercie de cette invitation à présenter un résumé des recherches sur le cerveau actuel et des interrogations que ces recherches peuvent soulever. Le problème que je vais traiter date de la nuit des temps. Depuis toujours, l'humanité se préoccupe de savoir ce qui la fait penser, ce qui lui permet d'avoir une activité cognitive, et depuis l'Antiquité évidemment, on réfère cette activité au fonctionnement du cerveau. Donc le problème qui va être abordé, c'est celui du déterminisme biologique, cérébral de notre activité mentale. Comment peut-on en rendre compte, comment peut-on l'étudier, quels sont les succès récents obtenus dans ce domaine et quelles sont, on le verra, les limites qu'on peut poser à ce genre de recherches ?

Donc le programme des laboratoires qui travaillent dans le domaine des neurosciences cognitives, dont je suis, est ce qu'on appellerait la naturalisation des états mentaux, c'est-à-dire essayer de considérer nos états mentaux comme des objets naturels qu'on peut décrire, dont on peut rechercher la structure, l'origine, le fonctionnement. En quelque sorte, considérer l'esprit comme un organe comme les autres, cependant pas tout à fait comme les autres. C'est donc une quête ancienne qui est réactualisée par les méthodes modernes d'investigation du

fonctionnement cérébral : tout le monde a entendu parler de la neuro-imagerie. Je vais utiliser dans cette conférence plusieurs exemples tirés de la neuro-imagerie. La neuro-imagerie est un ensemble de méthodes qui permettent de visualiser le fonctionnement du cerveau vivant, c'est-à-dire du cerveau tel que le vôtre ou le mien, le cerveau d'un patient, sans modification particulière, simplement en demandant au sujet de se mettre dans un scanner, et on observe les images de son cerveau en fonctionnement.

Un autre aspect concerne les méthodes modernes d'investigation de la psychobiologie, je n'en parlerai pas aujourd'hui, c'est celles qui ont trait à la description de la chimie du cerveau et de la fabrication des médicaments qui ont une action sur le psychisme. Evidemment, c'est une branche très importante des succès modernes des neurosciences.

Les tentatives récentes de naturalisation d'états mentaux

Je vais utiliser un certain nombre d'exemples qui vont montrer, en gardant la définition donnée il y a un instant, que les états mentaux qui sont actuellement la

cible des chercheurs, ont une forte composante émotionnelle. On va donc parler de jugement moral, de l'humour, du regret, de l'erreur. Ce sont des mots qu'on est surpris de trouver ici dans une conférence sur le fonctionnement du cerveau, et pourtant, ce sont maintenant les sujets qui sont abordés depuis quelques années par les chercheurs en neurosciences cognitives.

Le jugement moral est influencé par le niveau émotionnel. Commençons par le jugement moral. Il s'agit d'expériences de laboratoire et vous serez peut-être surpris par la naïveté de certaines formulations ou de certains tests qu'on utilise. Evidemment, il s'agit d'émotions de laboratoire, il s'agit de jugement moral de laboratoire. Mais je crois qu'à partir de ce que je vais montrer, on peut tirer un certain nombre de conclusions. Ce que l'expérience va montrer, c'est que le jugement moral - on le sait bien entendu, toutes ces choses sont connues, mais on peut maintenant le démontrer - utilise pour son fonctionnement certaines zones du cerveau : on pose à des sujets - des sujets d'expériences dans un protocole d'imagerie cérébrale de neuro-imagerie - des dilemmes moraux.

Voilà le genre de questions qu'on pose au sujet : « un wagon fou dévale une pente et va tuer cinq personnes. Le seul moyen d'éviter la catastrophe est de manœuvrer un aiguillage qui va diriger le wagon sur une autre voie où dans sa course, il ne tuera qu'une seule personne ». On pose la ques-

tion : « Si cela est en votre pouvoir d'actionner l'aiguillage, devez-vous actionner l'aiguillage ou non ? ». C'est un dilemme. Mais sur cent sujets pris dans la rue, 75 % répondent oui.

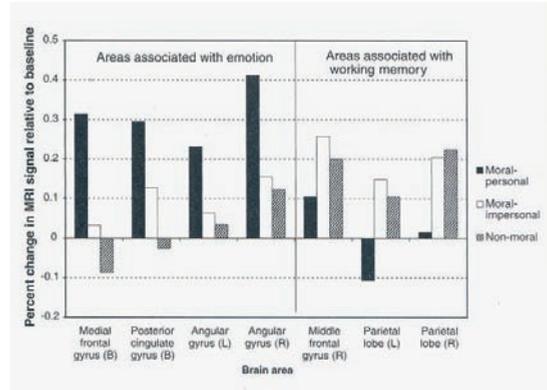
La deuxième question concerne la même situation à une différence près : « un wagon fou dévale une pente et va tuer cinq personnes, le seul moyen d'éviter la catastrophe est de pousser sur la voie l'homme corpulent qui est près de vous ». C'est un peu ridicule comme situation, mais enfin, admettons la. L'homme corpulent sera tué, mais la masse de son corps arrêtera le wagon et les cinq personnes seront sauvées. « Si cela est en votre pouvoir, devez-vous pousser l'homme ou non ? ». La majorité des gens répond non, pourtant, alors que c'est quasiment la même situation. Dans le second cas, vous sacrifiez une personne pour en épargner cinq, mais les moyens sont différents. Dans le premier cas, vous actionnez un système, un aiguillage et vous déviez la trajectoire du wagon. Dans l'autre cas, vous avez une action physique personnelle sur une personne qui va être tuée. Donc vous tuez une personne, alors que dans l'autre cas, vous en épargnez cinq.

Je vous ai donné cet exemple, mais évidemment l'expérience en comporte plusieurs. Il s'agit d'une étude consacrée au jugement moral à partir de ces dilemmes en neuro-imagerie. Dans le cas présenté, il faut faire la distinction entre un dilemme moral impliquant le sujet de manière directe ou

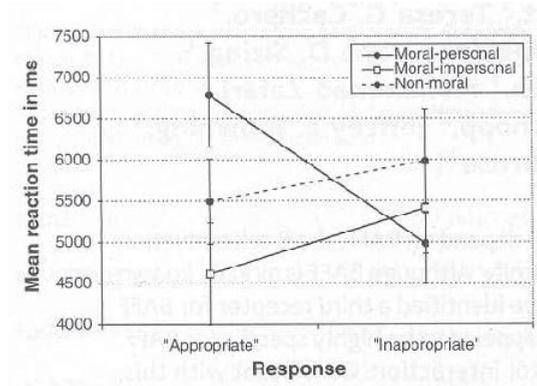
personnelle, et évidemment, ce type de réponse, de choix qu'on doit faire entraîne une réaction émotionnelle plus forte que dans le cas où il y a une action indirecte. Les zones cérébrales activées lors de la résolution de ce genre de dilemmes sont localisées dans des régions qui traitent la situation émotionnelle. Ce sont, je vais vous les montrer, la région frontale, le cortex singulaire et le cortex pariétal postérieur : ce sont des zones repérées depuis longtemps comme étant des zones qui traitent les stimulations émotionnelles.

Les neurosciences cognitives, grâce à ce genre d'études, s'approchent d'assez près de composantes qui sont finalement assez personnelles et assez intimes, nos émotions. Et on arrive à savoir que, pour résoudre ce genre de dilemmes - vous avez peut être tué une personne ou sacrifié une personne - même s'il s'agit évidemment d'une expérience au cours de laquelle vous n'êtes pas confrontés à la situation réelle, pour faire ce choix, vous activez un certain nombre de régions du cerveau qui traitent les émotions. Par contre, l'activation de ces mêmes régions est moins importante pour la résolution de dilemmes où le sujet est impliqué de manière indirecte ou impersonnelle. Regardons ces régions.

On peut faire l'expérience en enregistrant les réponses du sujet et puis on peut faire l'expérience en analysant aussi les régions cérébrales. Ici, on demande au sujet de répondre à une question, oui ou non. Et



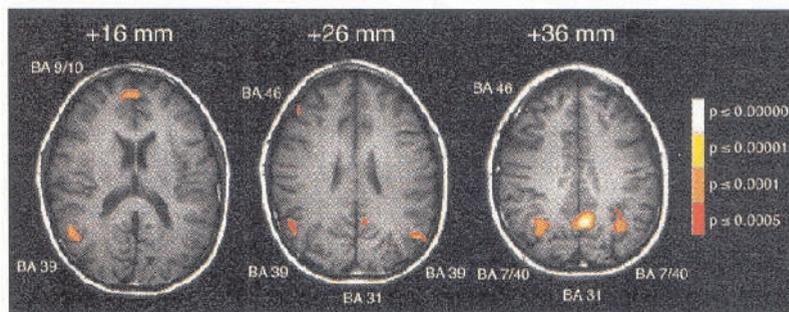
on mesure le temps que le sujet met pour donner la réponse. Et lorsqu'il s'agit d'un dilemme moral personnel, donc direct, tel que « est-ce que vous allez tuer cette personne ou pas », pour donner la réponse, les sujets prennent beaucoup plus de temps, jusqu'à six secondes.



Greene et al, Science, 2001, 293, 2105

Donc ils réfléchissent, ils travaillent sur leurs émotions, ils font tout un travail avant de donner la réponse alors que, lorsqu'il

s'agit de la réponse de type impersonnel, cela va beaucoup plus vite. On commence à s'habituer à voir des coupes de « cerveau moyen » : il s'agit ici peut-être d'une dizaine de personnes dont les images du cerveau sont moyennées sur cette coupe.



Greene et al, Science, 2001, 293, 2105

46

Succès
et limites
des
neurosciences

Les zones indiquées sont activées : la région frontale du cerveau, la région occipitale. Vous avez une région frontale qu'on appelle médiane parce qu'elle est près de la ligne médiane. Vous avez une région pariétale et ce qu'on appelle le cortex singulaire qui est aussi une autre zone qui travaille dans le domaine des émotions.

Vous voyez les différences, les zones qui sont associées avec l'émotion. Lorsqu'il s'agit d'un jugement moral personnel, vous voyez que les différences sont importantes. Voilà l'activité des sujets. Lorsqu'il s'agit d'un dilemme moral de type impersonnel, le cerveau émotionnel est beaucoup moins activé. Donc cela montre bien que pour prendre ce genre de décision -c'est quelque chose qu'on peut très bien concevoir, mais désormais on le voit - pour prendre ce genre de décision, on fait appel à l'activité de notre cerveau dans un certain nombre de zones particulières qui sont les zones qui traitent les stimulations émotionnelles.

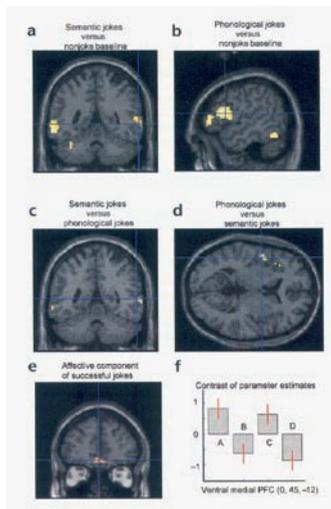
L'exemple de l'humour

Le second exemple sur lequel je passerai peut-être un peu plus vite, c'est l'humour. L'humour est quelque chose d'assez spécial. Vous écoutez une blague : cette blague comporte une composante cognitive, c'est-à-dire que vous êtes obligés de comprendre la blague et cette composante cognitive est soit d'ordre phonologique - on fait un jeu de mots - soit d'ordre sémantique, c'est-à-dire qu'on vous raconte une situation qui est bizarre. Ce sont des briques cognitives qui vous permettent de comprendre un énoncé et d'imaginer une situation.

Et puis, vous avez une composante affective qui est liée à la drôlerie elle-même, au fait que ce jeu de mots est drôle ou que la situation est cocasse. Et cette drôlerie provoque elle aussi une émotion. Lorsqu'on regarde le cerveau de quelqu'un qui écoute une blague, il n'y a pas d'autre mot, on trouve d'une part l'image des briques cognitives, celles qui permettent de décoder le sens des

mots, de décoder ce qui est phonologique, sémantique.

Donc ce sont ces zones, en particulier la zone dite de Broca, située dans la région frontale qui s'active quand on veut produire des mots, quand on veut comprendre les mots. Et puis, les régions temporales évidemment aussi qui sont très importantes. D'ailleurs, on n'avait pas besoin de ces images pour savoir que ces régions sont importantes pour comprendre un énoncé verbal puisque, quand elles sont détruites, ce qui se produit malheureusement quelquefois, c'est l'aphasie, c'est-à-dire l'impossibilité qu'on peut avoir soit de parler, soit de comprendre ce que quelqu'un vous dit.



Goel & Dolan, *Nature Neuroscience*, 2001, 4, 237

Donc là, rien de surprenant, mais lorsque vous écoutez une blague, vous décidez les mots, etc., vous activez toujours cette région du cortex préfrontal qu'on a déjà vue tout à l'heure, et qui est en quelque sorte une région qui traite les émotions ou qui produit une émotion. Et là, vous l'utilisez pour comprendre la drôlerie et, pour l'exprimer, une zone qui traite l'émotion.

Le regret.

Là, c'est une expérience de jeu au casino. Le regret est une émotion négative, ressentie à la suite d'une décision que nous avons prise et qui a entraîné un résultat défavorable. Il résulte d'une comparaison entre ce qui s'est réellement passé et ce qu'il se serait passé si on avait fait un autre choix : c'est la définition du regret.

Il faut le distinguer de la déception qui résulte aussi d'un événement défavorable, mais un événement défavorable indépendant de notre décision. Vous avez vu ci-dessus que pour le jugement moral, on pose au sujet des dilemmes moraux ; pour l'humour on lui raconte des blagues ; là, on met le sujet dans une situation de jeu. C'est un tout petit peu compliqué, mais imaginez que c'est une roulette : le sujet va faire un choix entre deux roulettes. Ce qui va déterminer son choix, c'est la possibilité de gain : ce qui est en noir, c'est la zone où le sujet peut gagner quelque chose. Ici, le gain, c'est de 50, mettons 50 euros. Donc ici, si le sujet choisit cette situation, il a 50 % de chances de gagner 50 euros. S'il choisit l'autre, évi-

demment, il va gagner beaucoup plus, soit 200 euros, mais dans beaucoup moins de pourcents.

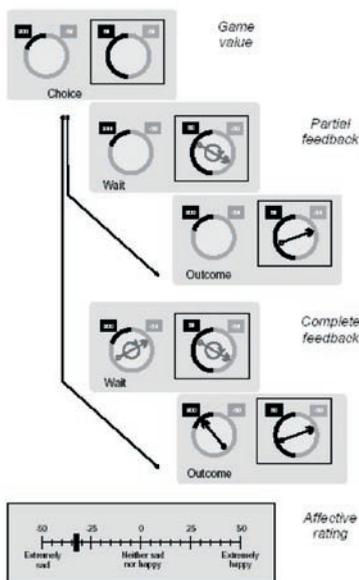
qu'on ne connaît pas ce qui s'est passé dans l'autre jeu.

Evidemment, on ne lui a pas montré ce qu'il s'est passé dans l'autre. Si on lui montre, et qu'en fait, ayant choisi la solution qui a perdu, à ce moment-là il regrette évidemment.

Donc on peut en quelque sorte utiliser ce petit jeu dans le scanner. En l'occurrence, il s'agit d'un test : on peut utiliser ce jeu et créer chez le sujet soit une situation de déception, soit une situation de regret. Alors, on demande aux sujets - vous voyez que c'est un article qui vient de paraître, qui a été produit d'ailleurs à Lyon - d'évaluer, ce qui se fait couramment dans beaucoup d'expériences, leur état de joie ou de tristesse : ils ont une espèce d'échelle sur laquelle ils placent un curseur, très triste, ni triste ni gai et très gai ou très content, très heureux. Et vous voyez que le sujet qui était dans cette situation-là, qui s'il avait joué ce côté-là aurait gagné 200 dollars, et qui en fait en a perdu 50 si on peut dire, regrette et place son curseur du côté « assez triste ». Avec ce système, on peut faire toutes sortes de mesures chez les sujets normaux, en cas de déception, en cas de regret. On mesure le niveau de tristesse que le sujet vous donne grâce à cette échelle.

Et on le mesure aussi chez des sujets, chez des patients qui ont une lésion de cette fameuse région frontale médiane qui, comme vous l'avez vu à propos du juge-

48
Succès
et limites
des
neuro-
sciences



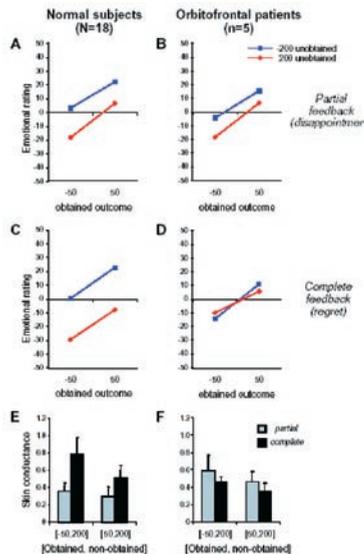
Le jeu de la roulette
Camille et al, Science, 2004, 304, 1167

Admettons que le sujet ait choisi cette situation, la situation «tranquille» : on n'est plus sûr de gagner, on gagne moins, mais on est plus sûr. On va lui montrer ce qui se passe dans la roulette qu'il a choisie et on va lui montrer qu'il a perdu. Vous voyez que l'aiguille s'est arrêtée dans la zone qui ne gagne pas et le sujet va donc avoir une déception parce qu'il a parié, il n'a pas gagné, il est déçu. C'est la situation de déception, lorsque la mise choisie est perdue et

ment moral et de l'humour, est une région qui s'active quand on est ému, qui a une relation avec l'émotion. Donc, ce sont des « patients frontaux », c'est-à-dire qui ont une lésion du cortex frontal, à qui on pose ces questions. Ce sont des sujets qui ont un comportement à peu près normal, mais simplement, ils expriment très peu d'émotion. Ils ont en quelque sorte perdu une grande partie de leur affectivité, ce qui fait leur personnalité. Et vous voyez que dans la situation de regret, ici, il s'agit des sujets normaux, ici il s'agit des patients (à préciser par rapport au graphique).

Les sujets normaux font bien la distinction entre avoir perdu 200 ou avoir gagné 200. C'est simplement une évaluation de leur état émotionnel tel qu'ils l'ont donné sur l'échelle, selon qu'ils ont gagné ou perdu. Et la différence entre les deux montre qu'il y a une situation très différente, c'est celle où ils regrettent.

Vous voyez que le patient, lui, évalue les situations à peu près de la même façon, il n'a plus de regret. Pourquoi n'a-t-il plus de regret ? Parce qu'il a perdu la capacité d'activer cette zone cérébrale particulière qui est la partie du cerveau qui code les émotions.



Camille et al, Science, 2004, 304, 1167
Les patients porteurs de lésions frontales ventro-médianes éprouvent de la déception, mais pas de regret.

C'est une expérience qui, à la limite, en dit plus que les autres : lorsque nous n'avons plus la possibilité d'exprimer et de ressentir des émotions, les jugements que nous portons sur les choses sont altérés. Autrement dit, - c'est très important - nos jugements cognitifs, évaluation de gain et de perte, jugement moral, etc. sont conditionnés par les émotions. C'est une des données auxquelles les neurosciences cognitives nous permettent d'accéder.

Cette image (P. 50) est intéressante parce qu'il s'agit du crâne d'un Américain qui s'appelait Phileas Gage. Il était ouvrier des chemins de fer : avec une barre à mine, il enfonçait une charge dans un rocher pour le faire sauter ; la charge a éclaté, la barre est partie et lui a traversé la tête. En plus foncé, c'est une reconstruction de la barre à



mine qui a traversé sa tête. Pourquoi l'avoir faite ? Parce que Phileas Gage, du jour où il a eu cet accident, a complètement changé de personnalité. Avant l'accident, c'était un ouvrier très consciencieux, très sérieux etc. qui ne plaisantait pas du tout avec les horaires, avec le travail, etc. et après la barre à mine, après l'accident - il n'a d'ailleurs pas perdu connaissance - il est allé ramasser la barre, c'est quand même un accident tout à fait particulier -, il est allé à l'infirmerie, on l'a soigné, il a eu quelques jours d'arrêt de travail et quand il est revenu sur le chantier, il avait complètement changé : il riait tout le temps, il se moquait des contremaîtres, il faisait mal son travail, il avait perdu toute

adaptation en quelque sorte au monde réel, au monde du travail.

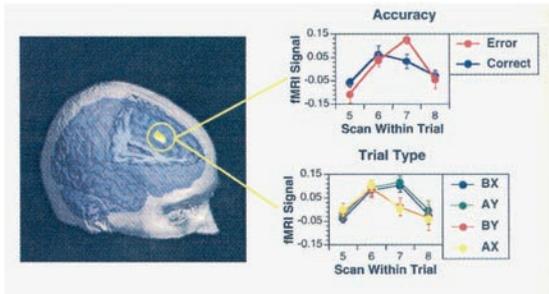
Grâce à cette reconstruction, vous voyez que c'est la zone médiane frontale qui a été détruite des deux côtés. La barre à mine a traversé le cortex frontal et a détruit exactement cette région que je vous ai montrée tout à l'heure. Damasio a repris toutes ces données, en a fait la reconstruction anatomique et a montré que ce qui avait produit le changement de personnalité de Phileas Gage, c'est qu'il avait précisément eu une altération de cette zone frontale, qui est critique pour apprécier les situations, s'adapter au monde réel. Pourquoi ? Parce que pour s'adapter au monde réel, pour évaluer les situations, pour prendre des décisions, pour faire des jugements moraux, nous avons besoin de nos émotions.

La réaction à des erreurs

Il est intéressant de balayer toutes ces situations qui sont abordées maintenant couramment dans des expériences de neurosciences. Ici, il s'agit de la réaction à des erreurs dans une situation de conflit. C'est un test extrêmement simple. Des lettres apparaissent sur un écran et vous devez répondre lorsque vous avez un X qui apparaît ; mais lorsque ce X a été précédé d'un A - autrement dit, vous voyez un A en plus, vous attendez, vous voyez un X - vous donnez une réponse, c'est-à-dire que vous appuyez sur un bouton. On montre cette configuration en X, des gens sont là pour répondre, ils attendent, on leur montre cent

fois des lettres et ils doivent répondre chaque fois qu'ils voient un X précédé d'un A.

Mais on leur montre évidemment aussi



Carter, C.S. et al (1998), *Science*, 280, 747
L'activation du cortex cingulaire antérieur augmente avec le risque d'erreur.

d'autres configurations, des configurations qui ne sont pas en conflit avec la tâche : on leur montre un B, ils savent qu'ils ne doivent pas répondre parce qu'on doit répondre seulement quand on voit un A suivi d'un X. Pour BY, les gens ne répondent pas, il n'y a pas de conflit, il n'y a pas d'erreur possible en quelque sorte. Mais on leur montre aussi des configurations où il y a un conflit avec la tâche, c'est-à-dire BX par exemple. Vous voyez un B, vous dites je ne vais pas répondre, mais après, vous voyez un X, vous savez que vous devez répondre après un X, alors c'est quand même une situation où vous risquez de vous tromper. C'est une situation qui est un peu stressante si vous voulez. AY, c'est aussi une situation qui est embêtante parce que vous voyez un A, vous dites je vais répondre, en fait c'est un Y qui arrive donc vous ne devez pas répondre.

Ce sont des situations où il y a risque

d'erreurs. Et lorsqu'on analyse l'activité du cerveau de ces gens, il y a une zone particulière qui s'active dans la région du cortex singulaire dont on a vu qu'il s'agissait d'une région qui traite l'émotion (c'est en anglais je m'en excuse). Vous voyez que lorsque que dans les situations sans risque, BY, aucune réponse évidemment et AX, il n'y a pas de problème, on ne peut pas se tromper puisque c'est là qu'on doit répondre justement, alors l'activité de cette zone est moindre. Et lorsqu'il y a des risques d'erreur, soit que le sujet se trompe, soit même qu'il ne se trompe pas mais qu'il pense qu'il risque de se tromper, BX ou AY, l'activité est plus importante.

Donc c'est encore un exemple qui montre que ce genre de décision, lorsque vous êtes dans une situation où il faut faire très attention, où vous risquez de vous tromper, c'est le cerveau émotionnel qui s'active.

Une première frontière éthique

Toutes les recherches vues jusqu'à maintenant impliquent la neuro-imagerie : on est dans une situation où on fait des investigations un peu lourdes sur l'activité cérébrale ; je dis lourde parce qu'il s'agit d'investissements importants, aussi bien pour le sujet lui-même que pour l'expérimentateur qui doit acheter des machines qui coûtent très cher, etc.

Ces recherches portent, vous l'avez vu,

sur les invariants d'une tâche cognitive, c'est-à-dire ce qui est commun à tous les individus : prendre une décision, etc. On ne vous demande pas un avis personnel. On vous demande « Qu'est-ce que vous répondez là ? » ; vous devez choisir, appuyer sur un bouton selon l'apparition de lettres, etc. Ça ne porte pas vraiment sur votre intimité propre, à la différence d'une recherche qui porterait sur les aspects personnels, c'est-à-dire les aspects autobiographiques que cette tâche pourrait comporter. Autrement dit, ces recherches portent sur ce qui nous fait penser et pas sur ce à quoi on pense en fait. On s'intéresse à « comment fonctionne le cerveau », « comment fonctionne le système cognitif », « comment on arrive à penser, à formuler des jugements, à détecter des erreurs », etc., mais pas évidemment à une situation personnelle intime.

Et si on s'interroge sur la responsabilité du scientifique dans ce genre de travaux, on voit qu'il y a ici une frontière, une grande différence entre une étude sur les invariants cognitifs, c'est-à-dire sur les mécanismes qui sont communs à tous, sur le véhicule en quelque sorte de nos pensées, de nos réflexions, de nos jugements plutôt que sur le contenu qui, lui, est individuel et personnel. Donc voilà une frontière qu'on peut tracer et on va voir plus loin un exemple où cette frontière peut éventuellement être franchie.

Il s'agit d'un rapport qui a été présenté par le conseil de bioéthique du Président des Etats-Unis. C'est une réflexion, une interrogation éthique sur les progrès dans le domaine des neurosciences. Il ne s'agit pas uniquement des neurosciences, il s'agit en fait de la biotechnologie, de la science biologique en général, mais les questions que se pose ce rapport sont pour l'essentiel en rapport avec les neurosciences. J'attire votre attention sur le titre : « Au-delà de la thérapeutique, les biotechnologies et la poursuite du bonheur ». L'idée que présente ce rapport, c'est que lorsqu'on aura guéri les maladies - ce n'est pas demain - que fera-t-on ? Avec les méthodes que nous aurons, on cherchera non plus à guérir les gens qui sont malades, mais à améliorer ou augmenter l'état des gens qui sont bien portants. Et là, on entre dans un débat essentiel.

La première phrase du rapport est très pompeuse, très américaine : « Le souci américain, unique, de la poursuite du bonheur qui a fondé notre nation au moment de sa naissance prend maintenant une nouvelle signification alors que nous entrons dans l'ère de la biotechnologie. Dans les années à venir, nous aurons la possibilité de gagner de nouveaux pouvoirs pour satisfaire nos désirs et chercher à remplir cette mission de l'Amérique qui est d'augmenter le bonheur »¹. Cette phrase, qui m'a frappé, donne l'ambiance du rapport qui, par ailleurs, est un rapport scientifique extrêmement sérieux, extrêmement intéressant.

¹ « The unique American commitment to the pursuit of happiness made for our nation by its founders at the moment of its birthday takes on new meaning as we enter the age of biotechnology. In the years to come, we may gain vast new powers to satisfy our desires and to seek our fulfillment. »

Que sont les « new powers », ces nouveaux pouvoirs ?

- Fabriquer de meilleurs enfants, plus intelligents, moins violents, etc.
- Avoir de meilleures performances, être plus intelligent, avoir plus de mémoire.
- Avoir des corps sans âge (ageless), donc un vieillissement en quelque sorte illimité et on pense évidemment ici au vieillissement cérébral.
- Et enfin, avoir des esprits heureux, c'est évidemment ce qu'on peut attendre de l'utilisation des drogues psychotropes, non pas pour traiter une dépression ou une schizophrénie, mais pour améliorer le bonheur.

On se trouve maintenant confronté à ce genre de réflexion qui n'a peut-être pas encore gagné notre pays ; ce rapport date de 2004, il est tout à fait récent. C'est une espèce de frontière, une perspective en quelque sorte qui s'ouvre, selon ces personnes, des gens extrêmement influents dans le domaine de la science, et qui va aller dans le sens d'une poursuite du bonheur.

Quand on entre dans ce genre de considérations et qu'on reprend éventuellement les expériences que je vous ai montrées et d'autres, on peut se demander jusqu'où on peut aller, quelles sont les conséquences ou le droit qu'on peut avoir de pousser ce genre de recherches.

La modulation autocontrôlée de l'activité cérébrale et ses applications potentielles

Voici un autre exemple qui, dans la lignée de ce rapport, prend une importance assez grande.

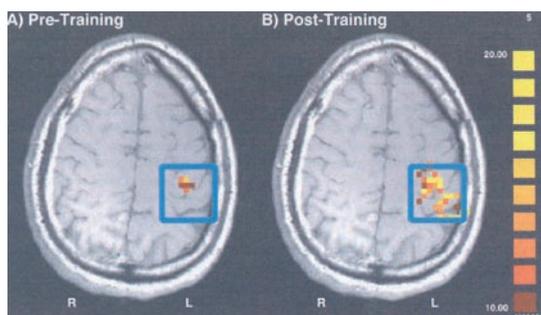
Il s'agit de nouvelles perspectives à propos d'une recherche menée par Christopher deCharms, un groupe américain, pour réaliser une modulation autocontrôlée de l'activité cérébrale.

Autocontrôlée, explorons ce que cela signifie.

L'expérience fonctionne de la manière suivante. L'expérimentateur vous demande d'avoir une activité mentale particulière, - ce qui a été fait exactement avec cette activité mentale-là -, d'imaginer que vous êtes en train de bouger vos doigts, de pianoter. Vous fermez les yeux, vous imaginez que vos doigts bougent, ils ne bougent pas mais cette activité mentale d'imagerie motrice, d'imaginer un mouvement - on l'a montré déjà de nombreuses fois - réalise une activation localisée de la région du cortex cérébral qui fait bouger les doigts. Penser une action, même si on ne la fait pas, c'est un petit peu comme si on la faisait, ça active la même zone du cerveau.

L'expérience consiste à donner un indice externe de cette activation : elle est enregistrée par un scanner, donc un système

d'imagerie par résonance magnétique, on la met dans un appareil électronique, etc. et on la fait ressortir par exemple sous la forme d'un niveau sur un écran ; c'est-à-dire qu'au début, l'écran est gris, puis vous imaginez votre action de bouger les doigts. Votre activité mentale est échantillonnée, elle est envoyée dans la machine et vous avez un niveau rouge en quelque sorte, une ligne qui monte, qui monte d'autant plus que vous imaginez. Le fait d'avoir ce guide vous permet de modifier l'activité mentale correspondante. Voici l'image, ce sera encore plus simple.



*Expérience de deCharms et al.
(NeuroImage, 2004)*

Ici, on est dans le cortex moteur, la zone qui permet de bouger les doigts. Lorsque le sujet commence sa performance, il fait ce que nous faisons tous : il imagine qu'il bouge les doigts et cela active une petite région de son cortex. Lorsqu'on lui montre cette activation et qu'on lui dit « Imaginez de plus en plus etc. » pour essayer d'augmenter, il y a arrive très bien. Et vous voyez qu'au bout de

quelques minutes d'entraînement, il arrive à modifier lui-même son activité cérébrale par une activité mentale. Voilà exactement le message qu'il faut retenir.

deCharms et ses collaborateurs - dans un article tout à fait récent de 2004 -, disent : « c'est très important parce que s'ouvrent un certain nombre de perspectives », qu'ils proposent sous cette forme : il s'agit de la mise en œuvre combinée des capacités de plasticité synaptique et de réalisation d'une activité cognitive.

On le sait, par exemple un violoniste qui fait tous les jours des exercices a un cortex moteur correspondant beaucoup plus efficace, etc., ce qui va se traduire dans des mouvements d'archet de plus en plus perfectionnés. C'est ce qu'on appelle la plasticité synaptique, c'est-à-dire que le cerveau est modifiable. Donc dans l'expérience, on fait une mise en œuvre combinée de cette capacité de plasticité synaptique et de la possibilité de réaliser une activation purement cognitive, comme par exemple l'imagerie mentale.

Quelles sont les applications potentielles ? Evidemment, tout le monde y pense, c'est l'apprentissage et l'entraînement mental. Beaucoup de gens le font, les violonistes en particulier, les sportifs de haut niveau, de plus en plus de gens l'utilisent maintenant, quelquefois même des conférenciers répètent leur conférence. J'ai reçu un petit article qui est paru dans un grand journal

sur cette découverte. Il se trouve que mon nom apparaissait là et j'ai ensuite reçu une lettre d'une cantatrice d'opéra qui me disait qu'elle était spécialisée dans des airs qui demandent une dépense vocale extrêmement intense, extrêmement importante, avec les variations propres à la musique plus contemporaine. Elle disait s'entraîner mentalement jusqu'à trois ou quatre jours avant le concert, ne chanter que juste avant le concert, et que c'est presque parfait d'emblée, « Comme ça, je n'abîme pas ma voix pendant toute la période d'entraînement en essayant d'atteindre ces notes très hautes, etc. », un entraînement qui n'est que mental.

Une autre utilisation potentielle est les neuro-prothèses. On commence à en parler beaucoup puisque, quand vous imaginez un mouvement, il y a une activité cérébrale ; pourquoi ne pas prendre cette activité cérébrale et l'envoyer dans un robot. Quelqu'un, paralysé par exemple, imaginerait l'action et c'est le robot qui la ferait. C'est tout à fait intéressant pour la réhabilitation motrice et la reconstitution du réseau fonctionnel : on peut imaginer que quelqu'un qui a une hémiplégie, grâce à cette méthode pourrait faire de la réhabilitation fonctionnelle.

Mais là où évidemment le problème se corse, c'est qu'on peut imaginer aussi la remédiation de troubles cognitifs et de troubles affectifs. Et d'après deCharms, il suffirait d'utiliser la bonne activité mentale : imaginez que vous êtes très triste ou ima-

ginez que vous êtes très gai par exemple, il faut alors trouver la région qui s'active, montrer au sujet cette région et le sujet, par un effort mental, va augmenter l'activation de cette région et devenir de plus en plus gai ou bien tout ce que vous pouvez imaginer. Et deCharms dit que cela pourrait être utilisé pour réduire la violence chez des gens qui sont violents, pour réduire les pulsions sexuelles chez des gens qui ont ce genre de problème, etc. Donc vous voyez, grâce à ces technologies avancées de la neuro-imagerie, se profiler des applications qui, tant qu'elles restent - comme je le disais tout à l'heure - dans le cadre des invariants, sont inoffensives et intéressantes et même critiques pour connaître le fonctionnement du cerveau. Mais quand elles abordent des aspects qui sont beaucoup plus personnels et qu'ils concernent les contenus, alors apparaissent toutes sortes de questions.

Un dévoiement de la technologie d'imagerie

Et je terminerai par un exemple qui est un dévoiement de la technologie, et dont l'utilisation est envisagée très sérieusement. On est dans une situation de déviance des techniques. Simplement, j'attire votre attention parce que c'est paru dans le « Journal of forensic Science », dans le domaine de la science médico-légale, on n'est pas vraiment dans la recherche.

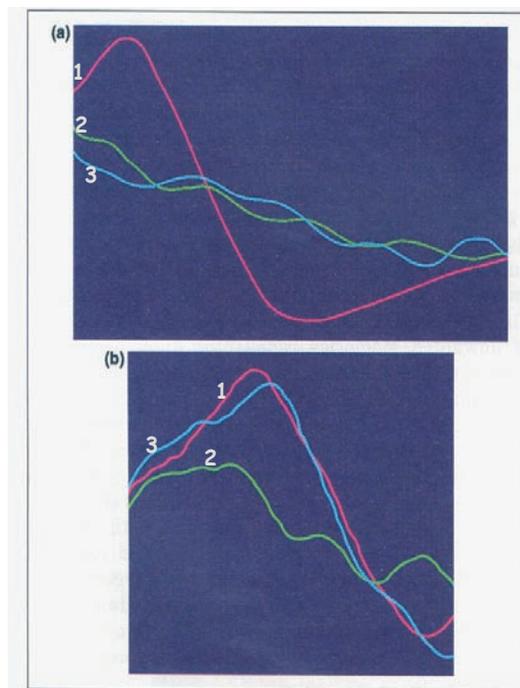
Il s'agit de l'utilisation d'une technique

d'imagerie cérébrale à des fins médico-légales que je n'ai pas évoquée jusqu'à maintenant : l'enregistrement de l'activité électrique du cerveau. C'est simplement une méthode plus légère, plus facile à mettre en oeuvre, et elle donne des informations très importantes.

Donc il s'agit ici - paraît-il - d'un criminel. En haut, c'est le sujet innocent, et en bas le criminel. Voilà ce qu'il se passe. On présente au sujet des phrases concernant soit des choses banales, et à ce moment-là, la réaction de son cerveau, traduite par cette ligne verte (2), n'est pas modifiée, ne présente aucune caractéristique. Soit on lui présente des données qui sont parues dans les journaux concernant le crime en question, qui sont connues de tout le monde, car les journaux ont raconté le crime. Vous voyez que le sujet innocent active alors son cerveau parce qu'il a reconnu, il sait que cette information existe, il l'a lue, etc. Donc c'est quelque chose qui est important et il a cette réaction - en rouge (1) - que le criminel a également.

Et puis la ligne bleue (3) correspond à des informations qui sont en principe connues du seul criminel, et qui n'ont pas été publiées dans la presse. Ça ne déclenche aucune réaction chez le sujet innocent, mais évidemment une réaction chez le criminel.

Donc vous voyez ici une espèce de détecteur de mensonges perfectionné qui utilise les méthodes d'imagerie cérébrale, mais qui



Farwell & Smith, *Journal of Forensic Science*, 2001, 46, 1-9.

évidemment intervient dans un contexte complètement différent de celui que nous avons évoqué jusqu'à maintenant. Il ne s'agit plus d'étudier l'activité cognitive et de chercher les invariants. Il s'agit tout simplement d'une inquisition qui pousse le sujet dans ses retranchements en utilisant des informations qui sont connues de lui seul. Et là, on retrouve évidemment le problème éthique que je soulevais tout à l'heure.

Voilà donc quelques études sur les avancées modernes en neuroscience cognitive utilisant les techniques de neuro-imagerie.

Vous voyez que maintenant, les chercheurs se permettent, entre guillemets, deviennent capables d'aborder les questions qu'on pensait réservées soit à certaines psychologies ou à la littérature, telles que le regret, l'humour, etc. ou peut-être au philosophe.

Maintenant, ils sont devenus des sujets d'étude de la biologie et vous voyez quels sont les problèmes qu'ils peuvent poser et quelles sont les limites qu'on doit s'imposer.

Je vous remercie.

Marc JEANNEROD

*Membre de l'Académie des Sciences
Lauréat du Prix Jean Rostand 2002*