

Séance du 29 avril 2013

Libre arbitre et neurosciences cognitives

par Alain SANS

MOTS-CLES

Libre arbitre - Neurosciences cognitives - Carte motrice - Préparation motrice - Vision aveugle - Responsabilité - IRMf

RESUME

Cet article s'attache à faire le point sur les découvertes les plus récentes concernant le moment où nous prenons conscience que nous allons effectuer un acte moteur. Les neurosciences montrent qu'une activité cérébrale précède d'environ 2s la prise de conscience subjective de cet acte. Nombre de spécialistes de la cognition considèrent donc que le libre arbitre n'est qu'une illusion. Pourtant il est possible que l'interprétation de l'activité précoce de l'activité cérébrale précédant la prise de conscience soit mal interprétée. L'utilisation des techniques modernes, en particulier l'imagerie fonctionnelle pourrait à l'avenir nous aider grandement à déchiffrer les mécanismes de la pensée humaine.

A la recherche du "fantôme dans la machine"

Le libre arbitre a toujours fait l'objet de débats passionnés et controversés. Cette communication ne prétend pas régler la question, loin de là, mais a pour seule ambition de faire le point actuel sur les travaux des neurosciences cognitives se rapportant aux structures nerveuses impliquées dans la prise de décision consciente et donc indirectement au libre arbitre.

Parmi les théories les plus connues, il faut distinguer : dualisme et déterminisme. La théorie dualiste a été illustrée par Descartes, pour qui l'esprit est distinct du cerveau et du corps. Dans le "Discours de la méthode (1637)" il affirme : "je pense donc je suis, (*cogito, ergo sum*)". Cette maxime suggère que penser et par conséquent la conscience de penser sont les fondements de l'être. Descartes ajoute "l'âme par laquelle je suis ce que je suis est entièrement distincte du corps". Il était à la recherche d'une assise logique pour sa philosophie et sa formule n'est pas sans rappeler celle de saint Augustin dans la Cité de Dieu, "si je suis trompé, je suis (*si fallor, sum*)". La notion de libre arbitre est sans conteste la notion qui nous tient le plus à cœur. Elle est la base de notre société et de notre droit. Pourtant, étrangement, dans un travail publié dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences des Etats-Unis, une étude menée auprès de 50 étudiants de l'Université de Princeton a montré que les étudiants interrogés s'estimaient plus libres que leurs congénères (E. Pronin et M. Kugler, 2010). Le libre arbitre ne serait donc pas la chose la mieux

partagée. Nous verrons que les découvertes récentes des neurosciences posent la question de la réalité du libre arbitre. La théorie du déterminisme est actuellement en vogue chez les chercheurs en sciences cognitives, pour des raisons qui seront développées plus loin. Lorsqu'il a été admis que la conscience devait siéger dans le cerveau, les neurobiologistes se sont posés la question de la nature de la conscience. En effet, le cerveau est un élément physique constitué, entre autres, de cellules nerveuses et répond donc aux lois de la physique, de la chimie, de la biologie, de la physiologie... On peut mesurer son activité électrique, la nature chimique de ses neuromédiateurs mais ce que l'on appelle "conscience" ne peut pas être mesuré par des instruments relevant de la physique ou de la chimie. Il s'agit d'une donnée éminemment subjective qui ne peut être appréciée que par les individus eux-mêmes. Ce fait a été affirmé dès le milieu du XVII^e siècle par G. Leibniz (1646 -1716) qui déclarait que si l'on pouvait regarder dans le cerveau et observer l'activité de toutes les cellules nerveuses, on ne verrait absolument rien indiquant l'existence de la conscience. A ce titre il se situe parmi les "dualistes". A l'opposé, le marquis de Laplace (1749-1827) affirmait que si l'on connaissait, dans un système donné, toutes les molécules et les lois qui le gouvernent, on serait à même de décrire et de prédire son comportement. Laplace était donc déterministe. Pourtant, son argumentation paraît aujourd'hui insuffisante. Outre qu'il paraît impossible de ne jamais connaître toutes les propriétés d'un système, on sait très bien que cela ne suffit pas. Par exemple les propriétés du benzène ne peuvent pas être directement déduites de ses 6 atomes de carbone et de ses 6 atomes d'hydrogène qui constituent sa structure en C₆. De même Sperry (1980) illustre ce point par l'exemple suivant : les propriétés d'une roue ne sont pas évidentes si l'on se trouve pour la première fois en présence de ses éléments constitutifs à assembler : rayons, jante, moyeu...

Les neurobiologistes ont toujours été intrigués par le problème de l'émergence de la conscience dans le cerveau. Le plus célèbre d'entre eux, préoccupé par la question du cerveau et de l'esprit, sir John Eccles, prix Nobel de physiologie et de médecine en 1965 a écrit plusieurs ouvrages et articles sur le sujet et organisa une conférence internationale, au Vatican, (Eccles, J.C. et Creutzfeld, O. D. 1990). Il élaborait même une théorie, la théorie des "psychons" pour tenter d'expliquer l'émergence de la conscience, toujours à la poursuite de ce qu'il appelait "*the ghost in the machine*" (le fantôme dans la machine), (Eccles, 1953, 1994). Actuellement des équipes travaillent sur le lien causal qui unit, conscience subjective et activité neuronale (Dehaene et Changeux, 2011). Bien avant eux, des expériences portant sur le système visuel des mammifères ont montré qu'il existait deux voies visuelles différenciées permettant d'aborder des phénomènes que l'on considérait comme inabordable jusqu'alors par les neurosciences, tels que : qu'est-ce que la conscience ou la pensée ?

La vision aveugle : "A quoi sert la conscience ?"

Nick Humphrey (1974), de l'université d'Oxford pratiqua chez le singe Helen, l'ablation du cortex visuel primaire. On considérait jusqu'alors que cette opération rendait le singe totalement aveugle. Or l'animal se déplaçait dans sa cage en évitant les obstacles, se dirigeait vers l'expérimentateur qui lui tendait une banane et était même capable d'attraper un objet qu'on lui lançait. Cependant l'animal se révélait incapable d'identifier ces objets. En effet, Helen mangeait indifféremment, une

banane et un morceau de papier. Elle pouvait donc localiser les objets sans les reconnaître. Le singe se montra même capable de montrer sur un écran, la survenue très brève d'un point lumineux. Une constatation similaire a été faite chez un patient qui avait subi, pour des raisons médicales, l'ablation d'une partie de l'aire visuelle primaire. Ainsi, ce patient était capable d'indiquer le déplacement rapide, dans son champ visuel aveugle, du doigt de son médecin, alors qu'il disait ne point voir le doigt, (il ne percevait pas, en revanche les mouvements lents). Ce phénomène a été appelé par Wieskrantz (1974) : vision aveugle. Se pose alors une question ; comment le sujet peut-il indiquer la direction et le mouvement que prend le doigt de l'expérimentateur, alors qu'il dit ne pas le voir ? Qui dirige le doigt non perçu ? Est-ce à dire que dans les conditions "normales" ce comportement est guidé inconsciemment ; dans ce cas à quoi sert la conscience ?

L'expérience fondatrice de B. Libet : "Le libre arbitre existe-t-il ?"

Libet a inventé un paradigme pour établir les corrélations temporelles entre l'expérience subjective (prise de conscience) de la décision d'effectuer un acte moteur et l'activité cérébrale induite, l'ensemble étant corrélé avec cet acte moteur, (Libet et al.1983). Pour cela, il a eu l'idée simple mais géniale, de faire regarder, par le sujet se prêtant à l'expérience, l'aiguille d'une horloge effectuant un tour de cadran en 2,56 s. Le sujet est équipé d'électrodes posées sur le scalp au niveau de l'aire motrice pour enregistrer son électroencéphalogramme (EEG) et d'électrodes au niveau du poignet droit afin de capter son électro-myogramme. Il lui est simplement demandé, après que l'aiguille a effectué un premier tour de cadran, d'appuyer sur un bouton presseur, au moment qu'il souhaite et de noter dans sa tête la position de l'aiguille. Celle-ci cesse alors sa rotation et l'expérimentateur demande au sujet, où se trouvait l'aiguille au moment de sa prise de décision. Ce moment sera dénommé point W (*Wild*), le moment où il a pressé sur le bouton sera le point P (*Press*). On constate cependant que l'EEG montre une augmentation de l'activité cérébrale, appelée potentiel de préparation motrice (*readiness potential*), précédant le point W. Le temps qui s'est écoulé entre le point W et le point P est de l'ordre de 200ms.

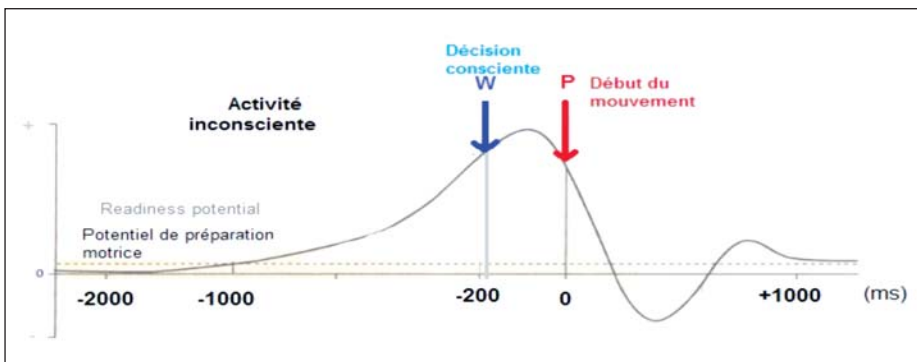


Fig. 1. Ce schéma résume l'expérience de Libet et de ses collaborateurs (1983)

Pendant cette période le sujet a exprimé sa volonté, il est donc conscient. Cependant, pendant la période qui précède le point W et qui dure approximativement 1500ms le sujet était non conscient qu'il allait prendre une décision. Cela semble indiquer que le moment où la volonté du sujet est devenue consciente, ce moment a été précédé d'une période préparatoire, le potentiel de préparation motrice, totalement inconscient. L'expérience de Libet (fig. 1) semble poser le problème du libre arbitre. Le sentiment que nous avons d'être libres n'est-il qu'une illusion ?

Cette expérience a été reproduite par de nombreux auteurs, contestée par certains car le sujet doit rapporter à l'expérimentateur, à quel endroit du cadran se trouvait l'aiguille au moment de la décision. Or, cette opération est éminemment subjective. Néanmoins, les expérimentateurs s'accordent actuellement pour considérer que cela n'affecte pas la validité des résultats. Il demeure cependant le problème de leur interprétation.

Les neurones miroirs : la formation de cartes motrices

Dans l'expérience de Libet, on interprète l'activité EEG, précédant la prise de conscience (W), comme un potentiel de préparation motrice ; le cerveau préparerait l'acte moteur avant même que nous en ayons conscience, mais n'y a-t-il pas d'autres interprétations possibles ?

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de comprendre comment les actes moteurs s'acquièrent au cours de l'ontogénèse. J'illustrerai cela en prenant comme exemple, le comportement d'un nourrisson. Paul avait alors huit mois. Sa mère avait pris l'habitude, depuis sa naissance, de siffloter en lui faisant la toilette. Ce jour-là, elle constate avec étonnement, que son bébé l'imité en sifflant à son tour. Paul ne sifflait pas spontanément, mais seulement lorsque sa mère sifflait. Lorsqu'il est assis en train de jouer, l'enfant sursaute lorsqu'il entend siffler. Il imite ses parents, mais ne répond pas à une demande non accompagnée d'un sifflement d'encouragement (fig. 2). Il s'agit là d'un acte automatique. Il n'en sera pas de même deux mois plus tard, où Paul acceptera de siffler sur la seule demande de ses parents. Il effectuera alors un acte moteur volontaire.



Fig. 2. Paul 8 mois, sifflant

Ce fait qui peut paraître étonnant s'explique grâce à la découverte des neurones miroirs par Rizzolatti. Ce dernier a réalisé avec ses collaborateurs les expériences suivantes (Rizzolatti et Sinigaglia, 2008). Il a implanté des micro-électrodes dans les neurones de l'aire prémotrice F₁ d'un singe. Ces neurones s'activent lorsque le singe regarde un congénère prendre de la nourriture, mais aussi lorsqu'il prend lui-même de la nourriture, d'où le nom de neurones miroirs. Ces neurones ont des propriétés étonnantes. Situés dans une aire prémotrice, ils répondent à des influx sensoriels visuels mais aussi et de manière tout à fait symétrique à une commande motrice. Ils ont leur équivalent chez l'homme dans des zones homologues et sont à la base de nos processus d'apprentissage. Lorsque Paul avait 8 mois, son cortex était très immature et ne pouvait répondre que par une première étape, purement automatique, d'apprentissage. Néanmoins cette étape est déjà très élaborée puisqu'elle nécessite la commande de nombreux muscles très variés. Dans une deuxième étape, ces neurones ont été sous le contrôle du cortex frontal (en particulier de l'aire orbito-frontale) et Paul pouvait décider de répondre ou de ne pas répondre à la sollicitation orale de ses parents. Ceci montre que nos comportements, nos actes moteurs, se trouvent préprogrammés, principalement dans les premières périodes de notre vie, sous forme de cartes motrices, à la disposition de notre cerveau.

Les successeurs de B. Libet : “Le libre arbitre n'est qu'une illusion”

Ces cinq dernières années, les progrès techniques effectués dans le domaine des neurosciences ont incité les chercheurs à reprendre les expériences de Libet en utilisant les nouveaux moyens techniques mis à leurs dispositions et à améliorer les conditions du déroulement de l'expérience, en tenant compte des critiques effectuées à l'encontre de l'expérience de Libet.

L'expérience la plus spectaculaire est celle menée sur des patients avertis et consentants qui devaient être opérés de foyers épileptiques (Fried, I. *et al.* 2011). Avant l'intervention chirurgicale proprement dite, on descendait les microélectrodes dans les aires corticales d'intérêt, compatibles avec la localisation des foyers épileptiques. Le protocole expérimental était le même que celui de l'expérience *princeps* de Libet. L'enregistrement de 1019 neurones a été effectué chez 12 patients vigiles, à qui on avait demandé de bouger librement le doigt pour presser un bouton (*cf. supra* §3). Les auteurs ont noté un recrutement progressif des neurones dans le sens d'une augmentation ou d'une diminution, 1500 ms avant que la décision de vouloir bouger ne se manifeste. Ce recrutement est d'autant plus intense que le moment de la décision approche, tout particulièrement dans l'aire motrice supplémentaire. Dans cette aire, une population de 256 neurones est suffisante pour **prédire**, 700ms avant la prise de décision consciente, l'imminence du désir de bouger avec une **probabilité supérieure à 80%**.

Cette approche au niveau cellulaire par microélectrodes a été confirmée par électroencéphalographie (EEG) et par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Schneider *et al.* 2013, en utilisant l'enregistrement par EEG en temps réel ont montré qu'il était possible de prévoir avec une grande probabilité, la survenue du mouvement, 1.5 sec avant la prise de conscience. De plus, les sujets interrogés disaient qu'au moment d'appuyer sur le bouton, ils pensaient à réaliser l'action, mais 1/3 d'entre eux étaient inattentifs. Les auteurs concluent que le cerveau

peut préparer un mouvement volontaire tout en pensant à autre chose. Pour M. Desmurget (2013) cela signifie que le signal précoce qui survient avant le désir de bouger, **ne reflète pas la préparation du mouvement** mais l'activité du système nerveux qui conduit à l'émergence d'une **intention consciente de bouger**. Enfin différents auteurs ont utilisé l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, pour traiter de cette problématique. Citons, entre autres, Ch. S. Soon *et al.* 2008 et S. Bode *et al.* 2011 qui ont pour leur part indiqué qu'ils pouvaient prévoir plusieurs secondes (> 7 s) à l'avance, la survenue de la décision de bouger. Ces auteurs insistent sur le fait que le cortex frontopolaire serait le point névralgique du cortex préfrontal initiant la génération des processus inconscients précédant l'acte volontaire moteur. Cette technique permet aussi de prévoir de quelle main, droite ou gauche, va se servir le sujet avant la prise de décision. En utilisant cette même technique, Patrick Haggard, un des leaders en science cognitive travaillant dans le groupe de recherches de l'Institut de neurosciences cognitives de l'University College de Londres, a montré que l'on pouvait influencer le choix des sujets. Ces derniers avaient le libre choix de presser sur un bouton avec la main droite ou la main gauche. On leur laissait *le libre arbitre*, à eux de décider. Au cours de l'expérimentation, on envoie sur un écran une flèche à droite ou à gauche, mais cette flèche apparaît très brièvement de telle manière qu'elle ne soit pas perçue consciemment (stimulation subliminale). Le résultat est que l'on arrive à influencer la décision des sujets dans l'utilisation d'une main plutôt que l'autre ! De quoi faire douter, d'après P. Haggard, de l'existence du libre arbitre. L'utilisation de cette technique est très précieuse par les compléments qu'elle apporte aux autres techniques en ce qui concerne la localisation des structures impliquées dans la mise en jeu de l'activité cérébrale. Cependant il semble que l'aspect temporel (>7 s) ne puisse pas être pris en compte en raison des limites même de l'IRMf.

Le pouvoir du “non” : les processus inhibiteurs

A la suite de ses expériences, Libet avait signalé la possibilité d'émettre un veto entre le moment W, où s'effectue la prise de conscience et le moment P, où s'effectue l'action de presser sur le bouton. Il s'écoule en effet entre 200 et 250ms entre les deux points, ce qui est largement suffisant pour stopper l'action imminente qui allait survenir. Il a été montré par E. Filevich *et al.* 2011 et P. Haggard 2008, qu'au niveau des aires prémotrices et motrices supplémentaires se trouvaient des zones susceptibles d'inhiber le cortex moteur primaire, (sous l'influence du cortex pariétal postérieur, Desmurget et Sirigu 2012) alors que les aires antérieures du cortex frontal peuvent inhiber des actions intentionnelles tardives. Ces auteurs sont donc partisans de deux sortes de freins cérébraux inhibiteurs, l'un précoce, en rapport avec un signal externe, l'autre tardif, faisant partie de l'inhibition intentionnelle en rapport avec un signal interne. Ces processus d'inhibitions font partie de centres nerveux travaillant en boucle et qui prennent en compte l'objectif à atteindre, la planification de l'action, la prédiction motrice, l'impact à long terme des prédictions. L'inhibition intentionnelle est dans ce cadre particulièrement importante dans les interactions sociales. Toutes les sociétés humaines ont le concept de responsabilité morale, qui présuppose la capacité d'inhibition intentionnelle. L'individu doit pouvoir réprimer les actions qu'il a l'intention de faire. Il lui faut donc pouvoir dire : “non”, ce que lui permettent les processus inhibiteurs.

B. Libet revisité : préparation motrice ou préparation précoce de l'intention d'agir

Les chercheurs du Centre de Neurosciences Cognitives de Lyon ont récemment montré que l'intention consciente d'agir émerge, pour partie, dans le lobule pariétal inférieur (Desmurget et Sirigu, 2012). En effet la stimulation de cette partie du cerveau entraîne pour le patient, l'intention de bouger, contrairement à la stimulation des aires précentrales médiales y compris les aires supplémentaires et pré supplémentaires motrices, qui induisent le besoin urgent de bouger. On remarquera que la seule stimulation d'aires corticales est suffisante pour induire une sensation consciente d'une intention ou d'un besoin urgent de bouger. Ce qui est en contradiction avec le modèle cartésien. Ces recherches sur le lobe pariétal ont amené très récemment, en janvier 2013, Michel Desmurget à proposer que l'augmentation précoce et inconsciente de l'activité cérébrale, qualifiée de préparation motrice ou "*readiness potential*" dans les expériences de Libet et ses successeurs, soit en réalité le signe de la préparation à l'**intention** d'agir (fig. 3). Lorsque celle-ci devient intention consciente, les réseaux neuronaux interconnectés **travaillent en boucle**, impliquant le lobe pariétal, le cortex frontal, les aires prémotrices, les aires supplémentaires motrices et bien d'autres structures. C'est pendant les 250ms qui s'écoulent entre la prise de conscience et le mouvement, que vont intervenir les freins cérébraux (*cf. supra*), la programmation motrice et la possibilité d'émettre un veto.

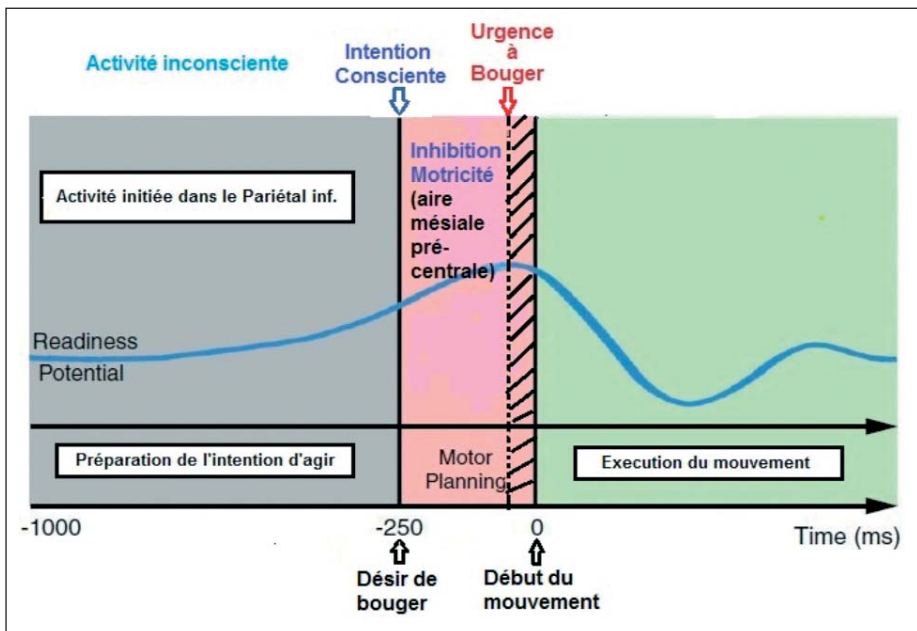


Figure 3. Interprétation de l'expérience de B. Libet par M. Desmurget et A. Sirigu.

Le schéma original, publié dans *Current Opinion in Neurobiology* (2012,22 :1004-1011) avec autorisation de l'éditeur et des auteurs a été modifié.

Bilan et commentaires

Certaines recherches de neurosciences cognitives, actuellement en plein essor, en s'intéressant à l'aspect subjectif de la prise de conscience lors d'un acte moteur, se trouvent confrontées au problème de la *conscience* et du *libre arbitre* et par là, touchent à des problèmes philosophiques. La définition et la conception du libre arbitre varient en fonction de la culture de la personne qui l'utilise. Pour le dictionnaire de la langue française, c'est "la faculté de la volonté à opérer un choix en toute liberté", de façon absolue, c'est à dire d'être à l'origine de ses actes. Dans cette communication, il n'a pas été abordé les différentes nuances que les théories philosophiques apportent à la notion de libre arbitre. Les neurobiologistes des sciences cognitives ont adopté la définition anglo-saxonne du libre arbitre qui se résume en *free will*, c'est-à-dire, le *libre arbitre de la volonté* et se sont positionnés en fonction de ce seul critère. En effet, il est possible d'étudier un acte volontaire librement décidé et de rechercher les différentes structures cérébrales concernées. La découverte d'une activité cérébrale inconsciente, précédant l'entrée dans la conscience de la survenue prochaine d'un acte moteur, par B. Libet a entraîné de nombreuses études et de nombreux contrôles. Elle a suscité à son début, une forte opposition, car cette découverte semblait mettre en doute l'existence du libre arbitre. Or le sentiment d'être libre et donc responsable de ses actes est le sentiment le mieux partagé dans l'espèce humaine. Comment admettre des résultats aussi étonnants ? Ces résultats semblent aujourd'hui admis dans les faits, sous l'angle neurophysiologique, mais subsiste la validité de leur interprétation. C'est ainsi que Michel Desmurget propose de substituer à l'interprétation, préparation motrice (Readiness Potential) se rapportant à l'activité cérébrale inconsciente, celle de "préparation de l'intention d'agir". Cette substitution qui peut paraître mineure, enlève le côté non consciemment contrôlé de l'acte moteur, des premières interprétations. Quoiqu'il en soit, ces expériences battent en brèche, la conception cartésienne, dualiste, du libre arbitre. On ne peut plus nier que la conscience d'une action volontaire soit tributaire de centres nerveux travaillant non pas en chaînes linéaires mais en boucles, ce qui assure flexibilité, souplesse et puissance d'analyse. La programmation de nos actions fait appel à notre mémoire, à notre expérience, aux cartes motrices établies depuis notre plus tendre enfance et qui continuent à se construire tout au long de notre vie. La flexibilité de notre cerveau va lui permettre de puiser dans ce capital pour agir avec souplesse en fonction des circonstances. Il semble donc qu'une chaîne de déterminismes soit à l'œuvre pour nous faire agir soit en fonction de l'environnement et dans l'immédiateté, soit en fonction des règles et obligations de la société. Plus nous connaissons les structures impliquées dans les processus de décision, moins le libre arbitre, au sens **cartésien du terme** paraît vraisemblable. Le libre arbitre n'appartiendrait pas à une Raison Pure, selon le principe kantien, un "*noumène*" abstrait et transcendantal, mais serait, d'après Libet, une simple illusion, une **reconstruction** de notre cerveau. Le sentiment de contrôle de soi qui nous anime et que nous ressentons, serait dû au fait que nous sommes soumis à **un espace-temps de préméditation-action** extrêmement court et bref. Notre comportement est un produit de notre activité cérébrale et de structures capables de développer un plan d'action et de le faire suivre aux aires motrices qui nous font agir. Cette conception du libre arbitre avait déjà été pressentie par Spinoza qui écrivit: "telle est cette liberté humaine que tous se vantent de posséder et qui consiste en cela que seul les hommes ont

conscience de leurs appétits et ignorent les causes qui les déterminent”. Après lui, cette morale déterministe a été adoptée par Nietzsche et plus récemment par des philosophes contemporains comme Michel Onfray. Pour d’autres comme Dan Dennet, les expériences de neurosciences cognitives sont correctes et sont compatibles avec le libre arbitre (*free will*). Ils adhèrent à un mouvement appelé “compatibilisme”, selon lequel nous serions déterminés tout en préservant notre libre arbitre.

Cette communication n’a eu pour ambition que de tenter de faire l’état des connaissances actuelles dans le domaine des neurosciences cognitives. Connaissances qui soulèvent de réels problèmes en particulier en ce qui concerne, le domaine de la responsabilité individuelle et plus largement elles ouvrent un débat avec les sciences humaines. La notion de libre arbitre n’est plus du domaine exclusif de la philosophie mais devient aussi celui des neurosciences. Nous avons beaucoup à apprendre d’un débat entre philosophie, théologie et des progrès futurs en neurosciences cognitives.

Pour terminer, je reprendrais une réflexion que Marc Jeannerod faisait en 2007 dans la revue “Pour la Science”, “Ce siècle sera-t-il celui du déchiffrement des mécanismes de l’esprit ? Que nous réserve ce nouveau défi : pourrions-nous enfin pénétrer au cœur du mystère de l’homme ?”. D’où “cette impression de transgression donnée par les neurosciences cognitives”. Finalement, la maxime écrite au fronton du temple de Delphes, “connais-toi toi-même” et que Socrate avait choisie reste toujours d’actualité.

Le lecteur intéressé par ce sujet pourra lire une interview de P. Haggard par L. Galley parue dans le journal suisse “Le Temps” du 31 août 2012 et dont une partie des commentaires de cet article a été empruntée.

BIBLIOGRAPHIE

- Dehaene, S. et Changeux, J-P. **2011**, Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron*.70, 200-219.
- Desmurget, M. **2013**, Searching for the neural correlates of conscious intention. *Journal of Cognitive Neuroscience* in press.
- Desmurget, M. et Sirigu, A. **2012**, Conscious motor intention emerges in the inferior parietal lobule. *Current Opinion in Neurobiology*. 22, 1004-1011.
- Eccles, J.C. **1953**— *The neurophysiological Basis of Mind*. In; Clarendon Press, Oxford.
- Eccles, J.C. **1994** —*How the Self controls its Brain*. Springer, Berlin.
- Eccles, J.C. Creutzfeld, O.D. **1990**, The Principles of Design and Operation of the Brain. *Pontificia Academia Scientiarum, Vatican*.
- Filevich, E. Kühn, S. et Haggard, P. **2012**, Intentional inhibition in human action: The power of “no “. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 36, 1107-1118.
- Fried, I., Mukamel, R. et Kreiman, G. **2011**, Internally generated preactivation of single neurons in human medial frontal cortex predicts volition. *Neuron*. 69, 548-562.
- Haggard, P. **2008**, Human volition: toward a neuroscience of will. *Nature*. 9, 34-946.
- Humphrey, NK. **1974**, Vision in a monkey without striate cortex: a case study. *Perception*. 3, 241-255.

Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E.W, et Pearl, D.K. **1983**, Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activities (readiness potential): the unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*. 106, 623-642.

Popper, K.R. et Eccles, J.C. **1977**, *The Self and its Brain*. Springer, Berlin.

Pronin, E. et Kugler, M.B. **2010**, People believe they have more free will than others. *PNAS*. 107, 22469-22474.

Rizzolatti, G. et Sinigaglia, C. **2008**, *Les neurones miroirs*. Odile Jacob.

Sperry, R. **1980**. Mind-Brain interaction: mentalism, yes; dualism, no. *Neuroscience*. 5, 195-206.

Scheider, L., Houdayer, E., Bai, O. et Hallet, M. **2013**, What we think before a voluntary movement. *Journal of Cognitive Neuroscience*. In press.

Weiskrantz, L. **1986**, *Blindsight: A Case Study and Implications*. Oxford: Oxford University Press.