Séance du 29 mars 2021

Neurosciences Cognitives et Libre Arbitre

Alain SANS
Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

MOTS-CLÉS
Libre arbitre, Libet, « readiness potential », potentiel de préparation, aire motrice supplémentaire et pré-supplémentaire, IRMf., conscience.

RÉSUMÉ
Le libre arbitre n'est-il qu'une illusion ? Cette question est étudiée depuis une quarantaine années par les neurosciences cognitives. Les premières études de B. Libet confirmées par électrophysiologie et l' IRMf. ont démontré que l'activité *cérébrale précède* la prise de conscience subjective d'un acte moteur, mettant en question la notion de libre arbitre. Ce résultat surprenant amène certains spécialistes à déclarer que *le libre arbitre reste une question ouverte*, l'activité cérébrale étant majoritairement du domaine de l'inconscient. Aussi, à côté d'une conscience latente, existerait-il une méta-conscience, de niveau supérieur, qui serait nécessaire pour que nous prenions conscience de nos décisions. Pour résoudre ce problème, il semblerait utile que neuroscientifiques et philosophes unissent leurs recherches.

Nota : À cause du confinement sanitaire dû à la Covid 19, cette présentation a été faite en visio-conférence.

1. Introduction

Le libre arbitre ainsi que la conscience ont toujours fait l'objet de débats passionnés. Sommes-nous vraiment libres de nos décisions ? De tout temps, cette question a été traitée par les philosophes, les théologiens, les juristes. Je m'en tiendrai strictement aux aspects neurobiologiques du libre arbitre et de la conscience, en faisant une petite exception concernant Descartes, car sa conception dualiste a été reprise, en 1973, par un grand neurobiologiste sir John Eccles, prix Nobel de physiologie et de médecine en 1963. C'est en effet à René Descartes que l'on doit la formulation explicite de la thèse du dualisme selon laquelle l'âme humaine est constituée d'une *substance immatérielle* échappant aux lois de la physique. Jusqu'au début du XX^{e} siècle, les scientifiques considéraient que l'étude de la conscience et le libre arbitre ne se prêtaient pas à l'expérimentation. Aussi leur intérêt pour ces questions est-il relativement récent car, ces dernières années, des progrès technologiques considérables ont été effectués. Ils ont permis d'aller plus loin dans la connaissance du fonctionnement de notre cerveau et des structures nerveuses impliquées dans la prise de *décisions conscientes*. Un grand nombre de travaux sont maintenant dévolus à l'étude du libre arbitre et je m'en tiendrai strictement à l'apport des neurosciences cognitives.

2. Le libre arbitre et les neurosciences cognitives : quarante années d'expérimentations.

2.1. 1964 : L'expérience préliminaire de Kornhuber et Deecke.[1]

Ces chercheurs ont découvert, en moyennant l'électroencéphalogramme (EEG) précédant un acte moteur volontaire, comme fléchir un doigt, qu'un potentiel électrique négatif de quelques microvolts (- µv) est visible dans le cerveau avant que le sujet ne réalise le mouvement. Ce potentiel croissait lentement. Ils ont appelé cette activité cérébrale le *readiness potential* (RP) soit : **potentiel de préparation**. Fig. 1 [1]

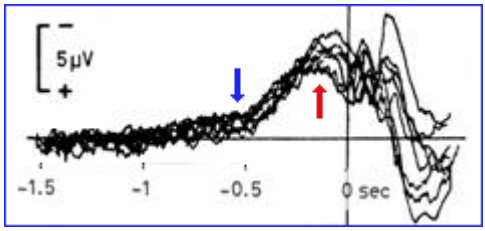

Figure 1 : *l'augmentation* du potentiel de préparation est clairement visible à environ - 0.5sec. (Flèche bleue) avant la flexion du poignet indiquée par la ligne verticale 0sec. Kornhuber Deecke 1964 [1]

Par la suite, ces chercheurs ont démontré que ce potentiel électrique provenait de l'activation des aires motrices pré-supplémentaires et supplémentaires et se manifestait toujours *avant une action volontaire*.

2.2. 1983 : L'expérience fondatrice de B.Libet.

Libet et al. [2] ont inventé un protocole expérimental pour établir les corrélations temporelles, entre l'expérience subjective, c'est-à-dire la prise de conscience de la décision d'effectuer un acte moteur, et l'activité cérébrale induite. Ce protocole expérimental consiste à 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 EEG et d'électrodes au niveau du poignet droit afin de capter son électromyogramme. Il lui est simplement demandé, après que l'aiguille a effectué un premier tour de cadran, d'appuyer sur un bouton pressoir, lorsqu'il ressent d'une façon urgente le *besoin d'agir* et de noter mentalement 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.

Le moment subjectif pendant lequel le sujet prend conscience de sa décision est dénommé point W (*Wild*) ; le moment où il a pressé sur le bouton, le point P (*Press*). On constate que l'EEG montre, avant l'action, une augmentation de l'activité cérébrale ; le potentiel de préparation (RP) dure environ 1500 ms. Lorsque l'intention du sujet est devenue consciente (W), ce moment a été précédé d'une période inconsciente (RP). Néanmoins l'expérience subjective W de vouloir l'action s'est produite seulement 200 ms avant le début de l'action (P). Libet affirme que l'on doit corréler W et la période RP qui le précède, car le fait qu'une onde cérébrale précède l'intention consciente de quelques centaines de millisecondes montre que l'intention consciente ne peut pas être la cause de l'action, mais plutôt est la conséquence des processus cérébraux qui la précèdent.

Pour Libet, le cerveau décide d'initier ou, du moins, de se préparer à initier l'acte avant qu'il n'y ait une conscience subjective rapportable qu'une telle décision a eu

lieu. Ainsi, notre intuition que nous avons un contrôle conscient sur nos actions semble être illusoire. Aussi a-t-il souligné la possibilité pour le sujet d'effectuer un véto entre le point W et le point P. Pendant la prise de conscience de la réalisation de l'acte moteur, le sujet pourrait revenir sur sa décision et bloquer le mouvement. Cela irait avec le sentiment que nous avons un libre arbitre. La prise de conscience de l'action servirait à cela. Le veto a été confirmé par des expériences montrant que l'on pouvait revenir sur sa décision mais seulement pendant 200 ms. Au-delà, la décision devient irréversible. C'est pourquoi le point P est aussi appelé point *de non-retour*.

Pourquoi les expériences de Libet sont-elles importantes ? La conclusion semble peu surprenante pour le neuroscientifique matérialiste moderne pour qui l'expérience consciente est une conséquence de l'activité cérébrale et non une cause extrinsèque de l'activité cérébrale. Néanmoins, cette conclusion diffère radicalement avec la notion d'action volontaire qui domine dans la psychologie populaire, dans la culture occidentale moderne, en philosophie et dans le droit (Frith et Haggard) [3]. En effet, la définition juridique de l'action implique à la fois un mouvement physique et une intention consciente. On peut se poser la question : *Le libre arbitre n'est-il qu'une illusion ?* Libet a indique que le potentiel de préparation provenait de l'activation des aires motrices pré-supplémentaires et supplémentaires (SMA), une région du cerveau impliquée dans la préparation motrice. 0ù dans le cerveau nos intentions se forment-elles et comment en devenons-nous conscients ? Qu'en est-il des régions du cerveau impliquées dans l'intention motrice ?

2.3. 2009 : Conscience et Intention motrice après stimulation du cortex humain.

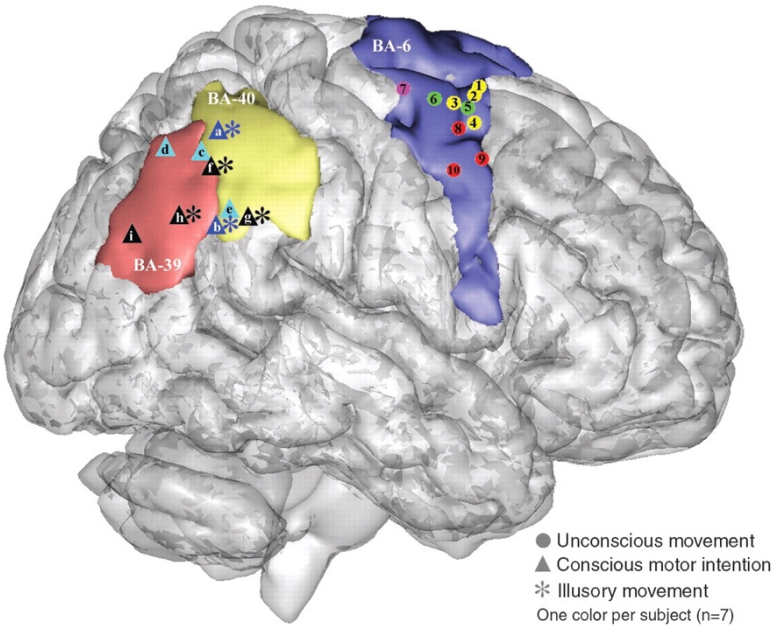

Figure 2 : La stimulation des aires prémotrices (en bleu) entrainent l'envie de bouger, avec des mouvements inconscients, alors que la stimulation des aires pariétales (rose et jaune) provoque l'intention de bouger mais pas de mouvements ou l'illusion de mouvements. Fig. issue de Desmurget et al. [4].

Desmurget et al. [4] ont étudié l'effet de la stimulation corticale des régions pariétales et prémotrices, déjà étudiées par Haggard P. [5], chez des patients subissant l'ablation d'une tumeur. Au moment des procédures neurochirurgicales, certaines parties du cerveau peuvent être stimulées pour déterminer leur fonction. Lorsque les aires prémotrices supplémentaires et supplémentaires (SMA) (Fig. 2) étaient stimulées, les patients ressentaient une **envie de bouger**, des mouvements complexes étaient induits mais les patients n'avaient pas ressenti ces mouvements comme étant le résultat d'un acte volontaire conscient. Ils ne savaient même pas qu'ils avaient bougé. Si la stimulation était augmentée, les mouvements devenaient plus amples sans jamais cependant atteindre la conscience.

La stimulation du lobule pariétal inférieur (Fig. 2) provoque l'i**ntention** de vouloir bouger le membre supérieur, la langue, et les lèvres sans pour autant faire le moindre mouvement. Si la stimulation était augmentée le patient croyait avoir réellement bougé ou parlé mais sans que l'on puisse détecter le moindre mouvement.

2.4. 2011 : Pré-activation des neurones du cortex frontal médian avant un acte moteur.

L'expérience de Libet a été très contestée pour des raisons méthodologiques. On reprochait à son protocole expérimental et à ce type d'expérience que le temps censé s'écouler entre la prise de conscience et le mouvement était bref et difficile à mesurer, de plus le fait de devoir se *souvenir de la décision d'agir* pouvait perturber l'expérience. Néanmoins, les résultats de base de Libet ont été reproduits et confirmés à de nombreuses reprises. L'expérience la plus spectaculaire est celle de Fried et al. [6] qui ont mené l'expérience de Libet sur des patients avertis et consentants qui devaient être opérés de foyers épileptiques. Avant l'intervention chirurgicale proprement dite, on descendait les microélectrodes dans les aires corticales d'intérêt, compatibles avec la localisation des foyers épileptiques. Il s'agissait de différentes parties du cortex frontal médian, y compris le SMA/pré-SMA et le cortex cingulaire antérieur. De tels enregistrements intracrâniens présentent de grands avantages par rapport aux enregistrements EEG classiques. On peut ainsi déterminer l'emplacement exact d'où provient l'activité. On peut aussi étudier le taux de déclenchement de neurones individuels ainsi que le nombre de neurones recrutés à un moment donné.

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. Les auteurs ont noté un recrutement progressif des neurones dans le sens d'une augmentation, 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 70%. Fried et al.[6] ont non seulement confirmé les résultats de Libet à l'aide d'enregistrements intracrâniens, mais ont également fourni une quantification de la capacité neuronale à prédire la conscience subjective de l'intention avant W. Le deuxième type d'expérimentation qui a confirmé Libet est l'utilisation de l'imagerie par résonnance fonctionnelle (IRMf).

2.5. 2011 : Libet confirmé par l'imagerie par résonnance magnétique fonctionnelle.

Bode et al. [7] ont montré que les décisions libres peuvent être décodées à partir de l'activité cérébrale plusieurs secondes avant d'atteindre la conscience. Les modèles d'activité dans le cortex fronto-polaire antérieur (FPC) ont apporté des informations liées

à l'intention, c'est donc une région candidate pour la génération inconsciente de décisions. Ces chercheurs ont montré que les modèles d'activité prédictive enregistrés avant qu'une décision ne soit prise sont devenus de plus en plus stables avec une proximité temporelle de la décision consciente. Ces résultats prouvent que le FPC se situe au sommet de la hiérarchie exécutive préfrontale dans la génération inconsciente de décisions libres. En résumé, en utilisant l'IRMf ultra-haut champ sur un scanner 7 Tesla (Fig. 3), ils ont pu reproduire avec une grande précision les conclusions de Soon et al. [8]. Les intentions motrices sont encodées dans le cortex fronto-polaire jusqu'à sept secondes avant que les participants ne soient conscients de leurs décisions. Le cortex fronto-polaire fait ainsi partie d'un réseau de régions cérébrales qui façonnent les décisions conscientes bien avant qu'elles n'atteignent la conscience.

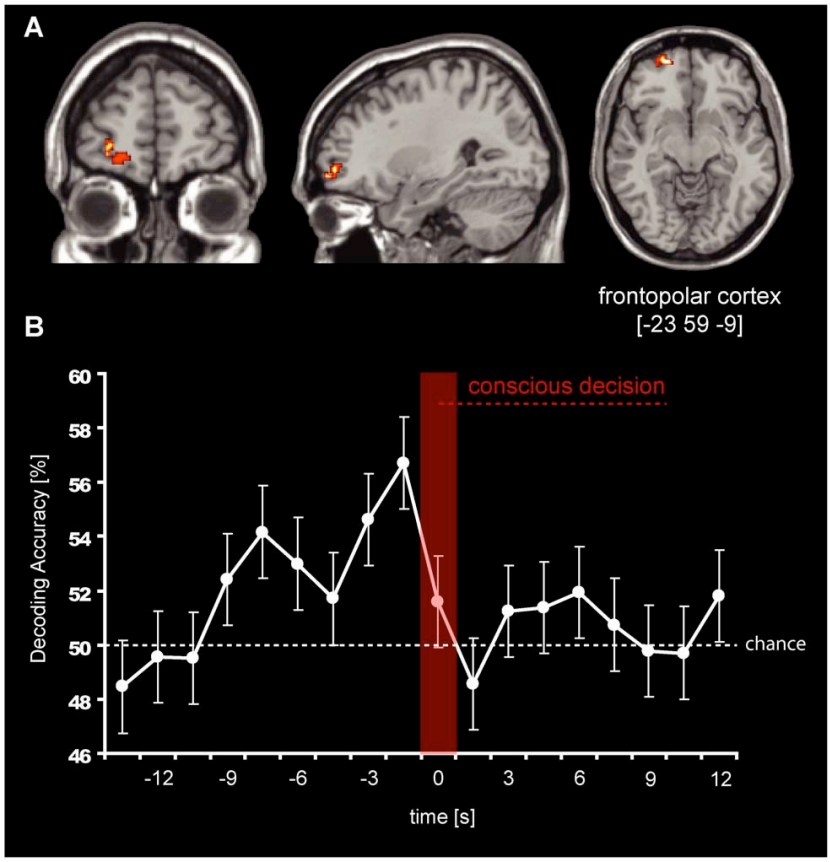

Figure 3 **:** *Recherche de la génération inconsciente de décisions libres en utilisant l'IRMf.* A : Les points rouges indique la localisation dans le cortex fronte-polaire. B : Le point 0 indique l'instant de la prise de décision. L'activité est importante dès 7 sec. avant cette prise de décision. Fig. issue de Bode et al.[7]

Ces conclusions ont cependant été contestées, car l'idée que le libre arbitre existe est profondément ancrée chez la très grande majorité d'entre nous.

2.6. 2012 : Libet remis en cause par un modèle de décisions stochastiques.

Schurger, Sitt et Dehaene [9] ont contesté l'interprétation de Libet concernant le potentiel de préparation RP. Celui-ci est considéré par Libet comme étant « le signe électro physiologique de *la planification,* de *la préparation* et de *l'initiation* des actes volontaires ». Le groupe de Dehaene [9] a contesté cette idée en utilisant un *modèle de décision stochastique* que l'on emploie en mathématique et en informatique pour dégager des probabilités.

Ils ont utilisé un « accumulateur stochastique qui fuit » pour modéliser la décision neuronale de se déplacer dans une tâche où il n'y a pas de repère temporel spécifique, mais seulement un impératif général de produire un mouvement après un délai non spécifié de l'ordre de quelques secondes.

Il s'agit de trouver la probabilité pour que les neurones atteignent le seuil à partir duquel ils entrainent la décision. En effet, ***les neurones présentent une activité stochastique permanente, c'est à dire une activité aléatoire***. Constatant que les sujets humains sont capables de se conformer à l'instruction de produire des mouvements spontanés volontaires lorsqu'ils le souhaitent *intérieurement*, Schurger [9] propose que le cerveau utilise le même mécanisme de prise de décision stochastique aussi bien dans ce type de tâche que dans toute tâche de prise de décision. Selon ce modèle, le moment précis auquel le seuil de décision conduisant au mouvement est largement déterminé par les fluctuations spontanées sous seuil. Nous ne rentrerons pas dans les détails techniques du modèle de décision stochastique. Schurger et all.[9] interprètent le franchissement du seuil comme la décision de se déplacer maintenant, ce qui déclenche alors une cascade de processus moteurs. La décision stochastique suggère que W ne reflète pas le moment où les participants prennent conscience d'une décision qui a été prise des centaines de millisecondes plus tôt, selon le modèle de Libet, mais reflète plutôt le moment où le processus de décision atteint le seuil, c'est-à-dire lorsque la décision est prise, elle devient alors consciente.

2.7. 2020 : Libet n'est pas remis en cause par les décisions stochastiques.

Travers et al. [10] ont vérifié, en 2020, les résultats de 2012 en examinant si les potentiels de préparation se produisaient tout le temps, c'est-à-dire lorsque aucune action n'est produite. Ils ont montré que le RP ne reflète pas la moyenne des fluctuations stochastiques accumulées dans l'activité neuronale, mais un signal spécifique lié à l'action auto-initiée. Ils n'ont trouvé aucune preuve d'événement de type RP à aucun moment, si ce n'est immédiatement avant les actions auto-initiées. Leurs résultats vont donc à l'encontre de ceux de 2012 et ne soutiennent pas un modèle purement stochastique de la génération du potentiel de préparation RP. Pour eux, *le RP peut être un précurseur spécifique d'actions volontaires auto-initiées*. Ils confirment donc les résultats de Libet.

3. Conclusion et Discussion.

Le libre arbitre a été pendant longtemps une question importante pour les philosophes, les juristes et les théologiens, avant de préoccuper aussi les neuroscientifiques. C'est seulement en 1983 que Libet *et al*. [2] ont montré que l'activité cérébrale associée à un acte volontaire précède *l'expérience consciente de l'intention* d'agir de plusieurs centaines de millisecondes. Ce résultat largement contrôlé n'est plus contesté. Diverses interprétations ont cependant été faites. Pour Libet cela impliquait que le libre arbitre n'existait pas. L'idée que c'est le cerveau, plutôt que le « libre arbitre »,

qui initie des actes volontaires a donné lieu à de très nombreuses expériences. Les résultats obtenus en IRMf montrant que les intentions motrices sont encodées dans le cortex préfrontal dorso-latéral (dlPFC) jusqu'à sept secondes avant que les participants ne soient conscients de leurs décisions, paraissent déterminantes pour emporter l'adhésion des neuroscientifiques. Au point que l'on dit souvent que « le cerveau sait avant vous, que vous allez faire un mouvement ». C'est ainsi que notre confrère Joël Bockaert[11] écrit dans son ouvrage sur la communication du vivant : *« Notre cerveau décide-t-il pour nous ? Oui, bien sûr, mais notre cerveau c'est nous ! ».*

Cette position nous laisse cependant insatisfaits. Il y a certes tellement d'indices que le cerveau agit automatiquement et que notre vécu n'est qu'une expérience après coup, que l'on est obligé de se poser la question : à quoi sert un cerveau ? C'est un système qui sert à prendre des décisions. Il rassemble des informations venant de toutes sources pour décider. L'information est réunie, analysée, une décision est prise, puis *seulement nous avons la sensation d'une expérience consciente*. Les implications des résultats des neurosciences cognitives sont étourdissantes ! Si les actions débutent inconsciemment, avant que nous soyons conscients du moindre désir de le faire, alors le rôle causal de la conscience dans la volonté n'est qu'illusion ! Faut-il accepter cela sans essayer d'aller plus loin ? Parmi la multitude de pensées qui nous assaillent, *seule une pensée est consciente, à un moment,* selon Dehaene [12]. La plupart de l'activité cérébrale étant du ***domaine de l'inconscient*** avant que le choix final d'une décision ne soit prise, que se passe-t-il ? Matsuhashi et Hallett [13] ont réalisé une expérience indiquant qu'il existerait plusieurs niveaux de conscience. En modifiant le paradigme de Libet, ils ont montré que, pendant le potentiel de préparation, les gens sont capables d'annuler leur mouvement lors d'un bref signal sonore itératif. Selon l'expérience de Libet, ils sont alors inconscients mais ils sont *en réalité conscients* de leur intention de se déplacer, mais c'est une *conscience latente*. Ils pensent à bouger, mais n'ont pas la conscience *méta-consciente,* de niveau supérieur, que c'est à cela qu'ils pensent. Une telle conscience méta-consciente serait nécessaire pour faire un rapport sur notre décision. [3]

Reste à expliquer la conscience, consciente, elle-même. Dehaene [12] a abordé le problème de la conscience dans son excellent ouvrage sur « le code de la conscience ». Nous avons besoin d'un niveau d'explication scientifique plus approfondi pour aborder ces questions [14]. C'est certainement pourquoi la très grande partie des spécialistes ne se prononcent pas clairement sur la question du libre arbitre et estiment que « si le libre arbitre existe ou non, reste une question ouverte » et qu'il faudrait que les scientifiques travaillent avec les philosophes sur ce sujet [3] [15]. Pour illustrer cette problématique un groupement international d'une vingtaine de chercheurs qui travaillent sur le sujet s'est constitué et a publié un article intitulé : « Opportunités et défis pour une science de la conscience qui mûrit » [16] [17].

RÉFÉRENCES

[1] Kornhuber H, L. Deecke. *Hirnpotentialänderungen beim Menschen vor und nach Willkürbewegungen, dargestellt mit Magnetbandspeicherung und Rückwärtsanalyse*. ; Pflügers Archiev. 1964, 281, 52.

[2] Libet B, C. Gleason, C. Wright, D. Pearl. *Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act*. Brain. 1983,10, 623–642.

[3] Frith CD, Haggard P., *Volition and the Brain - Revisiting a Classic Experimental Study*. *Trend Neurosci*. 2018, 41(7),405-407.

[4] Desmurget M, K. Reilly, N. Richard, A. Szathmari, C. Mottolese, A. Sirigu, *Movement Intention after Parietal Cortex Stimulation in Humans*. Science 2009,324 (5929),811-813.

[5] Haggard P., *The sources of human volition*. Science 2009, 324 (5928),731-733.

[6] Fried I, R. Mukamel, G. Kreiman. *Internally generated preactivation of single neurons in human medial frontal cortex predicts volition*. Neuron 2011, 69, 548-562.

[7] Bode S, He AH, Soon CS, Trampel R, Turner R, et al., *Tracking the Unconscious Generation of Free Decisions Using UItra-High Field fMRI*. Plus ONE. 2011, 6(6), e21612.

[8] Soon C.S, M Brass, H Heinze, J Haynes. *Unconscious determinants of free decisions in the human brain*. Nat. Neuroscience. 2008, 80, 11, 543-545.

[9] Schurger A, J Sitt, S. Dehaene, *An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement*. PNAS. 2012,109 (42), E2904-E2913.

[10] Travers E,N Khalighinejad, A Schurger, P. Haggard, *Do readiness potentials happen all the time ?* Neuroimage 2020, 206,116286.

[11] Bockaert J. La communication du vivant. 2017, p.13, éd. 0dile Jacob.

[12] Dehaene S. Le Code de la Conscience. 2014, éd. Odile Jacob.

[13] Matsuhashi M, M. Hallett. *Le moment de l'intention consciente de bouger*. EUR. J. Neuroscience. 2008, 28, 2344-2351.

[14] Hallett M. *Physiologie du libre arbitre*. Ann Neurol. 2016, 5-12.

[15] Brass M, A. Furstenberger, A.Mele. Why neuroscience does not disprove free will. Neuroscience and Biobehavioral Reviews. 2019,102,251-263.

[16] Michel M. et al. *Opportunités et défis pour une science de la conscience qui mûrit*. Nat Hum Behavior. 2009, 3(2),104-107.

[17] Gazzaniga M.S. Le libre arbitre et la science du cerveau.2011, éd. Odile Jacob.