

Lecture Alfred Fessard

Cerveau, cœur et estomac : des interactions inattendues

CATHERINE TALLON-BAUDRY

Laboratoire de Neurosciences Cognitives et
Computationnelles, Ecole Normale Supérieure PSL,
Inserm, Paris



La Lecture Alfred Fessard a été donnée par Catherine Tallon-Baudry le 15 mai 2025 à Montpellier lors du colloque NeuroFrance 2025.

Catherine Tallon-Baudry est une neuroscientifique française, directrice de recherche au CNRS, dont les travaux se situent à l'interface entre neurosciences, psychologie et philosophie. Depuis son doctorat, elle s'est spécialisée dans l'exploration de questions difficiles en sciences cognitives comme celle des bases cérébrales de la conscience, contribuant à ouvrir plusieurs champs de recherche.

Après des études de biologie à l'ENS de Lyon, elle obtient en 1997 un doctorat en neurosciences à l'Université Lyon 1. Ses travaux de thèse sont les premiers à mettre en évidence, dans l'électroencéphalogramme humain, des oscillations cérébrales de haute fréquence dites gamma, liées à l'intégration des différentes parties d'un objet visuel perçu. Alors considérées comme du bruit, ces oscillations sont désormais reconnues comme des marqueurs importants de fonctions cognitives, notamment grâce à ses travaux. Elle poursuit ces recherches en post-doctorat à l'Université de Brême,

montrant l'implication de ces oscillations gamma dans la mémoire de travail. En 1999, elle intègre le CNRS et rejoint en 2002 le laboratoire de Neurosciences Cognitives et Imagerie Cérébrale à la Pitié-Salpêtrière. Elle y oriente ses recherches vers l'étude de la conscience. Alors que la majorité des travaux se concentrent à l'époque sur l'identification de corrélats cérébraux de la perception consciente, elle s'attaque à ce que la philosophie nomme le « problème difficile » : la dimension subjective de l'expérience consciente. Ses travaux révèlent notamment une dissociation entre les corrélats cérébraux de l'attention et ceux de la conscience, ouvrant un champ actif d'investigation sur la conscience comme expérience vécue. Elle est élue en 2017 présidente de l'Association for the Scientific Study of Consciousness (ASSC) et dirige le centre de magnétoencéphalographie de l'Institut du Cerveau, contribuant à développer cette technique d'imagerie non-invasive. Depuis 2012, Catherine Tallon-Baudry est directrice de recherche au Laboratoire de

Neurosciences Cognitives et Computationnelles (LNC2) de l'École normale supérieure, qu'elle dirige aujourd'hui. Elle a initié à son arrivée un nouveau programme de recherche sur les interactions cerveau-corps dans la conscience de soi, soutenu par une bourse de l'European Research Council (ERC). Ses recherches montrent que les signaux viscéraux, tels que les rythmes cardiaques et gastriques, influencent l'activité cérébrale et l'expérience consciente, stimulant le développement du champ de l'interoception. En 2021, elle reçoit la

médaille d'argent du CNRS pour l'originalité et l'impact de ses travaux.

Valentin Wyart

Laboratoire de Neurosciences Cognitives et Computationnelles, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Inserm), Paris, France

valentin.wyart@inserm.fr

La boucle perception – cognition – action est un des piliers centraux des neurosciences cognitives, chez la personne humaine comme chez l'animal : un organisme extrait des informations de l'environnement par la vision, l'audition, l'olfaction ou le toucher, analyse ces informations, et agit.

Il s'agit ici de la perception du monde extérieur, ou extéroception, et d'actions dirigées vers le monde extérieur, et le corps n'est guère présent que comme véhicule de l'action. Ce paradigme a été, et est toujours, extrêmement utile et fructueux. Mais il néglige l'importance pour tout organisme vivant de connaître son état interne, de l'analyser et d'agir en fonction - sur l'environnement extérieur ou sur l'organisme lui-même. L'interoception est la perception et le traitement des signaux en provenance de l'intérieur du corps, par exemple en provenance du cœur ou de l'estomac, par le cerveau. Historiquement, l'interoception a beaucoup été étudiée de façon relativement indépendante des avancées des neurosciences cognitives, avec des exceptions de taille notamment dans le domaine du comportement alimentaire ou des émotions. Le travail de mon équipe ces dernières années a permis de montrer à quel point l'interoception est intégrée à la boucle perception – cognition – action. Plus précisément, nous avons montré que les signaux interoceptifs influencent la dynamique cérébrale, notamment dans des régions où cela est inattendu comme les cortex visuel ou auditif, et que les signaux interoceptifs influencent la perception et la cognition « froides », c'est-à-dire qui n'impliquent ni challenge corporel, ni émotions. Avant d'expliquer ces travaux plus en détail, je reviens sur ce qu'est l'interoception : jusqu'à il y a une quinzaine d'années le terme était peu employé, même au sein de la communauté scientifique.

L'interoception est centrale pour la régulation des états corporels, et peut être conçue comme la branche ascendante d'une boucle où la perception et le traitement des signaux internes permet ensuite d'adapter l'activité d'un organe. On parle d'homéostasie quand cette régulation est réactive, par exemple l'adaptation du rythme cardiaque à l'effort fourni, et d'allostasie quand cette régulation est prédictive, par exemple lors par anticipation le rythme cardiaque est modifié avant même le début de l'effort. Pour la partie ascendante qui nous intéresse ici, les signaux en provenance des organes internes sont notamment relayés par différents noyaux sous-corticaux, le noyau du tractus solitaire et le noyau parabrachial. Les projections corticales concernant principalement l'insula granulaire, une aire spécifique qui chez la personne humaine est postérieure et dorsale au sein de la vaste zone appelée insula, le cortex somatosensoriel, et le cortex cingulaire – mais il reste beaucoup d'inconnues sur les voies antomo-fonctionnelles de l'interoception, et les règles établies pour l'extéroception ne seront peut-être pas valables. Par exemple, contrairement aux sens externes qui ont des sites de transduction dédiés comme la rétine ou la cochlée, des signaux interoceptifs comme le battement cardiaque et son corollaire le pouls sanguin peuvent être détectés en de multiples endroits de l'organisme par des récepteurs différents.

Ces régulations qui sont essentielles pour l'organisme sont pour la plupart entièrement automatisées et non conscientes – ce qui, d'un point de vue cognitif, libère sans doute des ressources : en effet, qui voudrait être en permanence en train de réguler volontairement son rythme cardiaque ou sa glycémie ? Pour autant, certaines personnes peuvent avoir l'impression de percevoir consciemment leurs signaux interoceptifs, impression renforcée par certaines pratiques de méditation ou de relaxation qui prônent de se concentrer sur les signaux corporels. Pourtant, cette intuition est plutôt trompeuse – même s'ils pensent en être capable, les êtres humains sont en fait assez mauvais pour

détecter leurs battements cardiaques (environ 1 battement par seconde, avec une grande irrégularité qui est physiologique) par exemple. Quant à percevoir consciemment le rythme généré en permanence par l'estomac, avec un cycle toutes les 20 secondes environ... Il semble donc que les êtres humains ne soient que peu, ou pas conscients de ces signaux. Pour autant, mes travaux montrent que le traitement inconscient des signaux intéroceptifs à des conséquences inattendues, à la fois sur l'activité du cerveau, mais aussi sur la perception que nous avons du monde extérieur ou de nous-mêmes.

Le rythme gastrique module l'activité des aires dédiées à la vision, au toucher ou à l'audition.

L'estomac produit, grâce à des cellules spécialisées situées dans sa paroi, un rythme électrique lent, où un cycle dure une vingtaine de secondes. Ce rythme est produit en permanence, que l'estomac soit connecté au cerveau ou non, que l'estomac soit plein ou vide. Des voies anatomiques existent pour que ce rythme gastrique soit transmis au cerveau. Nous nous sommes donc demandés si le rythme gastrique était transmis au cerveau humain, et si oui dans quelles régions et sous quelle forme. Nous avons enregistré à la fois le cerveau, en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ou en magnétoencéphalographie, et le rythme de l'estomac, grâce à des électrodes placées sur l'abdomen. Grâce à la magnétoencéphalographie et à l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, nous avons enregistré l'activité dite « de repos », chez de jeunes adultes sains qui fixaient un écran gris, en laissant leurs pensées vagabonder, à distance des repas car nous ne voulions pas étudier la digestion en tant que telle – en effet lorsque l'estomac se remplit, un réflexe local augmente l'amplitude du rythme gastrique ce qui entraîne la contraction coordonnée des muscles lisses de l'estomac pour la digestion.

De façon surprenante, nous avons trouvé que le rythme gastrique module l'activité cérébrale dans des régions qui ne sont pas particulièrement connues pour être liées à la régulation corporelle, notamment les cortex visuel, auditif, olfactif, somatosensoriel (Figure 1). Aussi surprenants que ces résultats puissent paraître, ils ont été répliqués depuis, par d'autres groupes, chez la personne humaine ainsi que chez le rat. Pourquoi le rythme de l'estomac est-il présent dans les cortex sensoriels primaires, dont la fonction principale est de nous permettre de voir, entendre, sentir, le monde extérieur ? Si nous travaillons à répondre à cette question, ces premiers résultats indiquent en tous cas

que les signaux en provenance du monde extérieur sont sans doute combinés aux signaux en provenance du monde intérieur, et ce dès le début du traitement des informations extérieures. Dans tous les cas, nos résultats prouvent d'ores et déjà qu'une partie de la variance spontanée de l'activité neuronale, que certains appelleraient du bruit, est en fait contrainte par l'activité de l'estomac. Ces résultats replacent donc le cerveau comme un organe au sein d'un organisme, et non plus comme un chef d'orchestre tout puissant agissant sur le corps, mais peu influencé par lui.

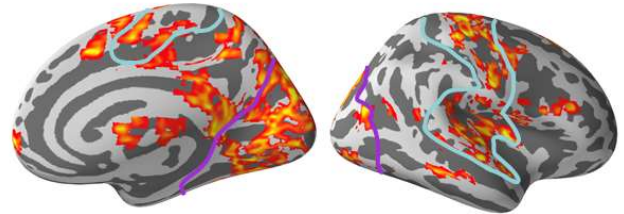


Figure 1. Le réseau gastrique (en orange) chez la personne humaine (vue médiane à gauche, latérale à droite), tel qu'observé en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, chez des sujets qui fixaient un point sur un écran tout en laissant leurs pensées vagabonder. Les régions en orange sont celles dont le couplage avec le rythme gastrique excède significativement le niveau du hasard. Le contour bleu clair correspond au réseau somato-moteur-auditif, et le contour violet au réseau visuel. Les zones du réseau gastrique qui ne sont pas incluses dans ces 2 réseaux sensori-moteurs font presque toutes partie du réseau par défaut.

La réponse évoquée au battement cardiaque et la subjectivité de l'expérience et des pensées

Pour aborder la question du lien entre intéroception et cognition, nous avons utilisé une autre mesure : la réponse évoquée au battement cardiaque. A chaque battement cardiaque, une décharge neuronale transitoire se produit, que l'on peut mesurer en électro- ou magnéto-encéphalographie chez la personne humaine – et comme explicité plus haut, cette réponse évoquée au battement cardiaque ne donne pas lieu à la perception consciente du battement cardiaque, sauf circonstances particulières. Nous avons enregistré la réponse au battement cardiaque dans de nombreuses situations expérimentales distinctes, et nous montrons que la réponse au battement cardiaque permet toujours de caractériser un aspect subjectif de la cognition. La subjectivité est une notion complexe, qui fait appel à de nombreux concepts. Une définition opérationnelle de la subjectivité est la suivante : est subjectif tout aspect de la cognition ou de la perception rapporté par un participant, mais que l'expérimentatrice ou l'expérimentateur ne peut pas vérifier indépendamment. La notion de subjectivité est reliée à celle de sujet d'expérience, une forme très simple du soi.

Commençons par un exemple où la notion de subjectivité et de soi est patente : les pensées spontanées. Nous montrons que l'amplitude de la réponse évoquée au battement cardiaque dans des régions cérébrales connues pour être reliées aux pensées spontanées, le cortex cingulaire postérieur et le cortex préfrontal ventro-médian, permet de savoir si la personne pense à elle-même ou s'imagine entre train de réaliser telle ou telle action. Mais la réponse au battement cardiaque nous permet aussi de prédire la perception consciente ou non d'un stimulus visuel au seuil de conscience, ou encore de déterminer le niveau de conscience de patients ayant émergé du coma mais ne communiquant pas avec le monde extérieur. Sans rentrer dans un catalogue exhaustif, nous avons maintenant une batterie de résultats montrant un lien fort en la réponse au battement cardiaque et subjectivité, ce qui constitue une base intéressante pour construire un modèle mécanistique de la conscience.

Vers un modèle de la conscience

Le modèle de conscience que mon équipe affine et teste est fondé sur l'idée que les signaux intéroceptifs, au-delà et potentiellement indépendamment de leur rôle de porteurs d'information sur l'état corporel, jouent un rôle de coordination de l'activité cérébrale, notamment dans les régions extéroceptives et le réseau par défaut¹.

Cette coordination serait à la base du sujet d'expérience, qui voit, pense, ressent. Plus précisément, je pars du constat que les référentiels de la perception (par exemple le référentiel centré sur le regard en vision, sur la surface corporelle pour le toucher) sont bien distincts, alors que l'expérience consciente est ressentie comme unifiée, et a comme point d'origine la personne qui ressent, avec son corps. Ma proposition est que les signaux cardiaques ou gastriques permettent de coordonner les référentiels dans lesquels les informations sensorielles visuelles, tactiles ou auditives sont encodées pour générer le référentiel unifié et centré sur notre corps qui est celui de notre perception consciente. Contrairement à la plupart des hypothèses existantes sur la conscience qui cherchent à expliquer la conscience par des traitements particuliers des informations externes, mon hypothèse porte donc sur ce qui rend possible l'existence même du sujet d'expérience : la coordination de l'activité cérébrale par les signaux intéroceptifs.

catherine.tallon-baudry@ens.psl.eu

Pour aller plus loin :

Engelen E, Solcà M, Tallon-Baudry C (2023) Interoceptive rhythms in the brain. *Nature Neuroscience* 26, 1670-1684 <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01425-1>

Azzalini D, Rebollo I, Tallon-Baudry C. (2019) Visceral signals shape brain dynamics and cognition. *Trends in Cognitive Science*, 23 (6), 488-509. doi: 10.1016/j.tics.2019.03.007

¹ Le réseau par défaut est constitué des régions corticales plus actives lorsqu'une personne laisse son esprit vagabonder librement que lorsqu'une personne s'engage dans une tâche cognitive comme résoudre un problème, prendre une décision,

écouter une histoire... Le réseau par défaut est par contre très actif dans des tâches engageant le soi (mémoire autobiographique, description de personnalité par exemple).