

Une cingularité du stress post-traumatique

Alexandre Merle

Praticien de médecine chinoise
Membre conseil de la commission
pour l'état de sous-santé auprès
la Fédération mondiale
de médecine chinoise WFCMS
74 rue Georges Bonnac
33000 Bordeaux

Résumé. Les perturbations ou les défis spécifiques présents dans l'environnement engendrent des modifications dans les états biologiques internes qui nécessitent la plupart du temps de produire une réponse adaptée, ceci afin de tendre vers la conservation de l'homéostasie, garante de sécurité et de bien-être.

La capacité cognitive d'un individu à représenter ces modifications, à les enregistrer puis à les restituer et à les moduler pour élaborer une réponse comportementale, garantit la cohérence et la temporalité des systèmes psycho-comportementaux qui fondent l'identité d'un soi unifié et sert de base à la fabrication d'émotions complexes, telles que les émotions de *caregiving*, sociales ou existentielles.

Cet article fait l'hypothèse d'une fonction d'orchestration au sein des systèmes exécutifs qui semble se dessiner autour des zones de contribution du cortex cingulaire, un domaine clé pour les comportements nécessitant une modulation cognitive des émotions, tels que les comportements prosociaux.

La dégradation de cette fonction d'orchestration, induite par le stress chronique post-traumatique, paraît altérer la continuité historique du soi et son identité à travers le temps au profit de comportements orientés vers la survie et pourrait faire émerger la notion d'un point de rupture dans l'organisation dynamique des réseaux cérébraux.

Mots-clés : cortex cingulaire, syndrome post-traumatique, cognition, encéphale, émotion/comportement

Abstract. The "cingularity" of post-traumatic stress. Disturbances or specific challenges present in the environment generate modifications in the internal biological states, which most of the time require an adapted response in order to maintain homeostasis, which guarantees safety and well-being.

The cognitive capacity of an individual to represent these modifications, to record them and then to restore them and modulate them in order to develop a behavioral response, guarantees the coherence and the temporality of the psycho-behavioral systems that underpin the identity of a unified Self and serves as a basis for the production of complex emotions, such as caregiving, social, or existential emotions.

This article posits an orchestration function within the executive systems that seems to emerge around the contribution areas of the cingulate cortex, a key domain for prosocial behaviors, requiring the adaptation and cognitive modulation of emotions and behaviors.

The degradation of this orchestration function, induced by chronic post-traumatic stress, seems to alter the historical continuity of the Self and its identity over time in favor of survival-oriented behavior, and could give rise to the notion of a breaking point in the dynamic organization of brain networks.

Keywords: cingulate cortex, post-traumatic syndrome, cognition, brain, emotion/behavior

Resumen. Una "cingularidad" del estrés postraumático. Las perturbaciones o los retos específicos presentes en el entorno, generan cambios en los estados biológicos internos que la mayoría de las veces requieren la producción de una respuesta adaptada, con el fin de tender hacia la conservación de la homeostasis, que garantiza la seguridad y el bienestar.

La capacidad cognitiva de un individuo para representar estos cambios, registrarlos y, a continuación, restablecerlos y modularlos para producir una respuesta conductual, garantiza la coherencia y la temporalidad de los sistemas psico-conductuales que sustentan la identidad de un Yo unificado y sirve de base para la producción de emociones complejas, como las emociones de *caregiving*, sociales o existenciales. Este artículo plantea la hipótesis de una función de orquestación dentro de los sistemas ejecutivos que parece que toma forma en torno a las áreas de contribución del córtex cingulado, un dominio clave para los comportamientos prosociales, con necesidad de adaptación y modulación cognitiva de las emociones y los comportamientos.

La degradación de esta función de orquestación, inducida por el estrés crónico post-traumático, parece alterar la continuidad histórica del Yo y su identidad a lo largo del tiempo, a favor de comportamientos orientados la supervivencia, y podría dar lugar a la noción de un punto de ruptura en la organización dinámica de las redes cerebrales.

Palabras claves: córtex cingulado, síndrome postraumático, cognición, encéfalo, emoción/comportamiento

Correspondance : A. Merle
<alexandremarle96@gmail.com>

Introduction

Pour naviguer dans le monde en toute sécurité, les humains ont besoin de produire un comportement efficace et approprié dans un contexte environnemental changeant.

S'adapter aux situations nouvelles, planifier et initier une action, inhiber des réponses prédominantes, prédire et mobiliser les ressources métaboliques requises nécessite d'intégrer des informations sensorielles, somatiques, mémorielles, de déterminer les stimuli prioritaires et d'organiser les hiérarchies d'influence des différents réseaux informatifs cérébraux. Ces processus recrutent des réseaux très similaires comprenant le cortex préfrontal, l'insula, le cortex cingulaire et les régions pariétales [1-3].

Parmi ces structures cérébrales et bien qu'il s'agisse d'un domaine intensif de recherche, le cortex cingulaire reste un peu une énigme. En effet, sa situation anatomique le place au carrefour des ascendances homéostatiques, de la mémoire autobiographique et spatiale, des processus cognitifs et des régions prémotrices, suggérant qu'il obtient à tout moment la perspective exhaustive de l'ensemble de l'état corporel et un rôle central au sein des réseaux neuronaux distribués.

Structure anatomique du cingulaire et connectivités fonctionnelles (Vogt, Rolls), fMRI et variabilité temporelle

Les progrès de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (fMRI) et des paradigmes expérimentaux analysant la variabilité temporelle, permettent aujourd'hui de déterminer le sens de circulation de l'information entre les aires cérébrales [4] et de mieux cerner l'influence du cingulaire au sein de la dynamique du cerveau en fonctionnement.

Le cortex cingulaire est situé sur la paroi médiane de chaque hémisphère cérébral et s'enroule autour du corps calleux. D'une structure hétérogène quand on prend en compte la cytoarchitecture, les connexions et les fonctions, il peut être divisé en quatre parties principales [5] :

- Le cortex cingulaire antérieur (CCA) qui occupe environ le tiers antérieur du cortex cingulaire. Il est réciproquement interconnecté avec l'insula antérieure, le cortex orbitofrontal et l'amygdale qui reçoivent des informations du flux ventral [6]. Les projections du CCA vers l'amygdale sont modérées, tandis que les éfferences de l'amygdale sont denses dans toute l'étendue CCA [7]. Il est engagé dans l'inhibition des réponses autonomes, dans l'évaluation du contenu motivationnel par l'attribution d'une valence émotionnelle aux stimuli externes ou internes et dans les vocalisations associées à l'expression des états internes [8, 9].

- Le cortex cingulaire médial ou moyen (CCM) a des sorties vers les aires prémotrices du cortex, le cortex pariétal et la moelle épinière. Il peut être divisé en une zone antérieure vers laquelle l'amygdale projette

modestement et une zone postérieure. Le CCM antérieur est activé par des émotions simples et impliquée dans le contrôle squelette-moteur comme les tâches d'évitement et de peur et dans l'apprentissage des résultats d'action [10]. Le CCM postérieur est impliquée dans l'orientation spatiale de la tête et du corps et ses réponses neuronales donnent pour la force et la direction du mouvement [11]. Le CCM déclenche les processus moteurs *via* une planification prémotrice en lien avec des caractéristiques motivationnelles [12].

- Le cortex cingulaire postérieur (CCP) et le cortex rétrosplénial (CRS) qui entourent le splenium du corps calleux, occupent le tiers postérieur. Ils reçoivent des informations visuo-spatiales et des informations liées à l'action des zones corticales pariétales [13]. Le CCP a des sorties dans le système hippocampique et est impliqué dans la mémoire. La partie la plus ventrale semble être fortement intégrée dans le DMN, « réseau de mode par défaut », qui reste actif lorsque nous ne prêtons pas attention aux stimuli externes. Le CCP dorsal montre un schéma de connectivité dense avec les lobes frontaux, et reçoit des informations du flux dorsal, y compris du cortex pariétal [14]. Il existe des preuves de signaux d'attention de haut en bas et de bas en haut qui influencent le CCP à travers le cortex préfrontal (CPF) [15].

- Le CRS est plus impliqué dans les processus de la mémoire autobiographique et de l'imagination [16].

Vogt [17] résume ainsi les corrélations fonctionnelles des quatre régions cingulaires :

- le CCA est impliqué dans les affects,
- le CCM dans la sélection des réponses,
- le CCP dans le traitement visuo-spatial,
- le CRS dans l'accès aux souvenirs.

Rôles du cingulaire au sein des réseaux distribués : les visions de la recherche

Les recherches sur les fonctions du cingulaire, au cœur des réseaux cérébraux exécutifs, se concentrent pour la plupart sur le cingulaire antérieur et médial (sur la base de données PubMed). La participation du CCA/CCM dans des fonctions comme le traitement et la détection des erreurs, le maintien attentionnel de l'ensemble cognitif, la surveillance des performances, le traitement des conflits et les fonctions cognitives connexes est bien étudié [18, 19]. En revanche, la contribution fonctionnelle du CCA aux différentes formes d'homéostasie, de douleur, de motivation qui implémentent les affects et les contributions réciproques entre les CCP/CRS et les CCA/CCM semblent recevoir moins d'attention de la recherche.

CCA/CCM

Lorsque des perturbations ou des défis surviennent dans les systèmes biologiques, souvent sous la forme

d'un écart par rapport à une référence ou à un objectif, le cerveau doit assembler, configurer et coordonner à partir de systèmes multifonctionnels les ressources et les processus qui répondent à la perturbation ou au défi spécifique [20].

Un processus efficace consiste à déterminer les exigences qui en résultent ou ce qui doit être fait, puis, sur cette base, planifier, organiser et mettre en œuvre les comportements adéquats.

Weston [21] fait l'hypothèse audacieuse et élégante qu'une des fonctions majeures du CCA est d'apporter ce type de contributions, de manière proactive, aux circuits fonctionnels. Cette fonction étant complémentaire au traitement des erreurs et aux fonctions connexes, qui sont de caractère rétroactif.

Plus précisément, il agirait en tant que médiateur pour représenter en amont les exigences des circuits et ainsi contribuer à la planification, à l'organisation et à l'exécution des comportements correspondants.

Mais pour cela, les neurones du cingulaire doivent être informés de tout événement, interne et externe, afin d'intégrer les variations homéostatiques d'un individu avec celles de son environnement sensoriel et de son état de motivation [22, 23].

Menon [26] a proposé un modèle qui va dans ce sens, où l'insula antérieure (IA) et le CCA/CCM forment le noyau d'un réseau de surveillance des événements saillants (*Saliency Network*, SN).

L'IA repère les stimuli internes et externes importants ou déviants [24] et initie des signaux de contrôle transitoires à partir desquels le CCA/CCM interviendrait pour sélectionner et moduler une réponse comportementale sur l'évaluation des résultats potentiels.

Ce processus dynamique permet d'ajuster le gain des stimuli accédant aux ressources d'attention et de mémoire de travail du cerveau [25], en activant le réseau de contrôle exécutif (*Control Executive Network*) et en désactivant le DMN (*Default Mode Network*) [26], étape capitale dans la construction du sentiment de connaissance...

Une approche, plus récente mais similaire, considère un autre réseau de contrôle cognitif, le *Cingulo-Operculaire Network* (CON), pour son implication dans le maintien d'une stratégie tout au long de la durée d'une tâche, avec l'IA et le CCA comme les deux principales régions du réseau.

La fonction du réseau cingulo-operculaire serait, à partir des stimuli retenus pour leur pertinence, de générer des signaux de contrôle transitoire vers d'autres réseaux à grande échelle pour qu'ils agissent sur l'événement (c'est-à-dire en activant le *Fronto-Parietal Control Network* et en désactivant le DMN). Ces signaux générés par l'IA sont ensuite maintenus par le CCA pendant toute la durée de la réponse [27].

Dans l'ensemble, les parties antérieures et médiales du cingulaire semblent donc jouer un rôle crucial dans l'initiation, la motivation et les comportements dirigés vers un objectif [28].

Les émotions, une conséquence des processus d'intégration ?

Mais qui dit représentativité des circuits fonctionnels activés en vue du pilotage de la réponse au défi, suppose une implication forte dans l'apparition et la construction des émotions.

Selon Joseph Ledoux, les émotions peuvent être considérées comme des caractères émergeant des circuits primaires dédiés à la survie, tout comme le caractère d'un plat émerge des ingrédients qui le composent. De la même façon, les états organiques d'un individu font partie de la matière première à partir de laquelle certaines classes d'émotions sont construites. La variation du type et de la quantité d'ingrédients détermine si l'on ressent de la peur, par opposition à une autre émotion, et détermine également la variante de la peur que l'on ressent [29].

La proposition de Ledoux est que les émotions se produisent chez les humains lorsque la conscience témoigne d'une modification de l'état interne de l'organisme, par l'activation d'un circuit de survie et qu'elle évalue cet état.

L'idée retenue pour cet exposé est que l'expérience émotionnelle résulte de la représentation d'états organiques internes dans l'espace de travail cognitif [30].

Une étude intéressante [32] examine le rôle du CCA/CCM dans l'émergence de la conscience émotionnelle.

Comme nous l'avons vu, les émotions sont généralement construites à partir des modifications dans les états viscéraux, motivationnels et sensori-moteurs en réponse aux évaluations environnementales.

Prendre conscience de ses émotions nécessite alors de pouvoir intégrer correctement les informations de chacun de ces canaux afin de donner un sens à ses propres sensations, pensées et comportements [31].

Smith et son équipe considèrent la capacité d'une personne à reconnaître et à comprendre ses propres émotions comme une conséquence importante de ce processus d'intégration [32], ce qui soutient la proposition de Ledoux que la conscience de l'émotion est une évaluation d'une modification de l'état interne.

Ce processus d'intégration joue, de façon vraisemblable, un rôle central dans l'apparition d'émotions plus complexes, telles que les émotions de *caregiving*, sociales [33] et existentielles.

Au sein des réseaux cérébraux, les parties antérieure et médiale du cingulaire interviennent dans un panel très large de fonctions, de manière proactive et rétroactive.

Leurs projections fonctionnelles nombreuses avec le cortex orbito-frontal et l'amygdale semblent les placer au carrefour des signaux ascendants pour une représentation exhaustive des états internes, ce qui est essentiel pour évaluer une réponse comportementale, la sélectionner, l'initier et la maintenir le temps nécessaire.

Au cœur du processus d'intégration cognitive des états internes, l'ensemble CCA/CCM pourrait être consi-

déré comme une structure d'échanges décisionnels qui représente et module les flux informatifs de bas en haut, ce qui lui confère notamment un rôle de premier plan dans l'apparition de la conscience émotionnelle.

CCP

Le cortex cingulaire postérieur (CCP) est l'une des régions les moins comprises du cortex cingulaire et il n'existe pas de compte rendu clair de sa signification fonctionnelle.

L'une des premières hypothèses fait état de son rôle dans le soutien des éléments sémantiques de la pensée « indépendante du stimulus » [34], c'est-à-dire lorsque des connaissances sont rappelées, maintenues en conscience et manipulées en vue de résoudre des problèmes ou de programmer des actions.

En effet, l'activité dans le CCP est plus élevée quand les pensées sont explicitement dirigées vers l'interne, lors du rappel de souvenirs autobiographiques ou de la planification d'avenir [35].

Cependant, le rôle du CCP pourrait s'étendre au-delà du soutien de la pensée interne. Chez les primates, par exemple, le CCP assimile les conséquences du comportement au fil du temps et fournit un signal pour changer de stratégie lorsque les conséquences des actions précédentes ne sont pas optimales [36, 37].

Cette expérience montre que le CCP contribue à représenter les exigences des circuits exécutifs pour moduler le comportement avec une intégration de paramètres temporels et mnésiques pour la prévision et l'orientation dans le temps.

En outre, l'hypométabolisme du CCP, élément diagnostique essentiel pour la maladie d'Alzheimer, est aussi régulièrement constaté dans la variante comportementale de la démence fronto-temporale [38] et une étude réalisée avec des patients atteints de la maladie d'Alzheimer souffrant d'une altération de l'orientation dans le temps (OT) par rapport à d'autres patients qui ne présentent pas ces symptômes, souligne l'importance du CCP en association avec le cortex temporal droit pour l'OT [39].

Ces deux études renforcent l'idée que le CCP a un rôle prépondérant dans la représentation de flux informatifs de haut niveau pour soutenir la modulation comportementale et la continuité de l'expérience autobiographique dans le temps.

Les travaux de Menon montrent que le réseau Salience SN (dont l'IA et le CCA/CCM sont les nœuds principaux) intervient dans la désactivation des tâches du CCP au sein du DMN en réponse à des événements saillants inattendus [1].

D'après les travaux de Leech [40], l'insula antérieure droite et le CCP dorsal pourraient former un système qui régule l'attention, l'IA signalant la nécessité de diriger l'attention vers l'extérieur, le CCP dorsal réglant le faisceau attentionnel sur la situation, leur interaction

conduisant à activer les réseaux cérébraux pour ajuster une réponse comportementale.

Un réglage large du faisceau attentionnel, dirigé vers l'extérieur, permet potentiellement à un individu d'être plus adaptatif, car les événements inattendus peuvent être capturés plus rapidement tandis qu'un réglage plus étroit permet d'être concentré sur une tâche précise et de gagner en efficacité.

Leech propose que le CCP dorsal soit impliqué dans le réglage du focus (large/étroit) et de la direction (interne/externe) [40] de l'attention, qui est une fonction essentielle notamment dans le traitement des informations visuo-spatiales.

Sur la base du soutien de la pensée interne, du réglage de l'attention, de la planification stratégique et de son importance pour l'orientation spatiotemporelle, je propose que le CCP représente et module les flux de haut en bas avec une implication forte dans la stabilité de la continuité temporelle qui sert de socle à la construction du soi autobiographique.

Il pourrait, en outre, être potentiellement intéressant d'étudier le métabolisme du CCP au cours de situations impliquant une adaptation comportementale élaborée à partir d'émotions complexes et d'acquis cognitifs avancés.

Un chef d'orchestre ?

Dans son ensemble, le cingulaire pourrait être vu comme un prisme qui concentre, de manière directe ou indirecte, les courants d'influences des réseaux cérébraux actifs et qui représente et articule les flux informatifs de bas en haut et haut en bas, en accord avec les exigences, en vue de définir une stratégie optimale...

Tel un chef d'orchestre chargé d'anticiper, de coordonner, de temporiser, de rendre cohérent le jeu de l'ensemble, en équilibrant les flux informatifs des différents circuits cérébraux, le cingulaire transmet aux processus exécutifs sa vision de la partition à jouer et la manière dont elle peut être interprétée et semble se positionner comme un portail entre la demande *obscure* des états internes, la réponse comportementale et la représentation cognitive *éclairée* du monde qui s'en dégage.

Les effets du TSPT sur l'activité cingulaire et la représentativité des réseaux

Il est solidement démontré, d'une part, que l'hyperactivité chronique de l'amygdale, spécifique au TSPT, est inversement corrélée à l'activité du CCA (méta-analyse de Hayes *et al.* 2012 [41]), suggérant une diminution de l'activité du CCA dans le TSPT et, par conséquent, une altération de ses fonctions [42].

Par exemple, le rappel des souvenirs traumatiques chez les femmes abusées sexuellement et atteintes d'un TSPT, est associé à une défaillance de l'activation dans le CCA et une altération du flux sanguin dans le cortex

préfrontal médian (CPF). On observe en parallèle une augmentation du flux sanguin dans le cortex moteur [43] et dans le CCP, qui est un nœud clé dans le rappel en mémoire [41].

De plus, l'activation de l'amygdale provoquée par la peur ou par une stimulation électrique, supprime l'activité du CCA et du CPF médian [44, 45] et active de manière intensive le CCM, suggéré pour médier l'évitement et d'autres comportements liés à la douleur [46, 47].

Une étude sur les rongeurs a également montré le lien direct qui existe entre l'échec de régulation du comportement agressif et l'hypométabolisme du CCA [48].

D'autre part, nous savons que le cingulaire participe à des réseaux cérébraux qui traitent des comportements motivés, des émotions, de la cognition et de l'attention à grande échelle [49, 50].

Les lésions, la dégénérescence ou l'hypométabolisme du CCA sont associés à la déficience de ces fonctions, y compris des déficits motivationnels et émotionnels tels que l'apathie, le désintérêt, l'absence de but, l'inactivité et la non-communication [51, 52].

Chez les personnes âgées dont les circuits cognitifs sont intacts, l'hypométabolisme et la réduction de l'activation du CCA sont liées à une performance plus médiocre de la fonction exécutive [53, 54].

Selon le DSM-5, les patients atteints de TSPT manifestent des symptômes d'altération de l'intérêt et de la motivation, de détachement et d'engourdissement émotionnel, ainsi que des symptômes d'altération du fonctionnement cognitif et de l'attention. Il y a un chevauchement évident entre les déficiences causées par l'hypofonction du CCA et les symptômes multiples du TSPT, ce qui sous-tend fortement que le dysfonctionnement du cingulaire participe à la survenue des symptômes.

Ensemble, ces résultats soutiennent l'influence suppressive de l'amygdale sur le CCA [55] qui semble être une sorte de gating critique [56] dans le routage et la priorisation de la réponse de survie, et dont l'hypofonction est susceptible de favoriser l'apparition de réponses comportementales d'urgence, telles que l'agressivité, l'évitement et l'engourdissement (*fight, flight, freeze*).

Chez mes patients souffrant de troubles de stress post-traumatique, l'éveil, l'attention minimale et les émotions d'arrière-plan sont intacts, les comportements routiniers et certaines émotions spécifiques sont bien régulés. Les comportements associés à des objectifs ayant trait à la vie quotidienne semblent se dérouler normalement. Mais lorsque certains stimuli sensoriels sont évoqués, ils entraînent une modification si profonde de la modulation comportementale et cognitive qu'une carte mémoire peut être rejouée avec toutes les caractéristiques mentales et comportementales du passé sans conscience apparente du présent.

Dans d'autres cas, le souvenir, rappelé par un biais externe ou interne, envahit le présent d'une telle manière

que cela devient insupportable et déclenche une réponse comportementale d'urgence qui sous-tend également une altération de la perception temporelle accompagnée d'une perte *temporaire* des capacités cognitives.

Pour la plupart, l'exposition sociale devient un défi et comporte une hypervigilance attentionnelle, favorisant presque exclusivement un focus d'attention large porté vers l'extérieur au détriment des focus d'attention étroits et des faisceaux d'attention dirigés vers l'interne qui soutiennent l'exécution de tâches cognitives précises, l'intégration autobiographique et l'analyse sémantique du vécu.

Dans toutes ces situations, nous pouvons suspecter une altération dans le mouvement des flux informatifs de bas en haut et de haut en bas. Cela se traduit par un déclin et/ou un biais dans la capacité d'intégrer les flux de bas en haut, à savoir la modification des états internes, ce qui entraîne des déficits dans la reconnaissance et la compréhension des émotions et favorise la sensation de détachement vis-à-vis de son propre corps.

Une conséquence logique est un appauvrissement de l'expérience avec des effets préjudiciables à la fois pour l'expression comportementale et pour la fabrication d'émotions supérieures qui participent à l'édification et la stabilité du soi autobiographique au fil du temps.

Le manque de souplesse dans le réglage des focus attentionnels qui procède possiblement d'une hypofonction du CCP vers une altération des flux de haut en bas, peut induire une rigidité cognitive et impacter l'activité de mémoire et la modulation pour une réponse comportementale de haut niveau.

En conclusion

Le cingulaire semble se positionner au sein des circuits cérébraux comme le point focal d'une orchestration, à la fois de l'intégration des états internes dans l'espace cognitif global, et de la tonalité en restitution du matériau cognitif qui, ensemble, conduisent à évaluer, à façonner et à maintenir une réponse comportementale adaptée au défi rencontré.

Nous avons exposé que le stress post-traumatique entraîne une activité cingulaire dysfonctionnelle et que la dégradation de cette fonction d'orchestration est de nature à éroder la qualité de l'expérience du soi, sa continuité historique et la stabilité de son identité à travers le temps, au profit de comportements orientés vers la survie et avec une certaine tendance, en l'absence de modulation, à compartimenter/segmenter les partitions psycho-comportementales.

Cette réflexion esquisse un regard complémentaire des modèles existants. Elle peut présenter un intérêt pour aborder les aspects dissociatifs de la personnalité parfois rencontrés dans le TSPT complexe et servir de base pour une conceptualisation des partitions psycho-comportementales, permettant d'affiner la

compréhension des nouveaux équilibres mis en place par cette conjoncture.

Liens d'intérêts L'auteur déclare ne pas avoir de lien d'intérêts en rapport avec cet article.

Références

- Menon V, Uddin LQ. Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Struct Funct* 2010 ; 214 (5-6) : 655-67.
- Collette F, Salmon É. Fonctionnement exécutif et réseaux cérébraux. *Revue de neuropsychologie* 2014 ; 6 (4) : 256-66.
- Niendam TA, Laird AR, Ray KL, et al. Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cogn Affective Behav Neurosci* 2012 ; 12 : 241-68.
- Guye M, Bettus G, Bartolomei F, Cozzone PJ. Graph theoretical analysis of structural and functional connectivity MRI in normal and pathological brain networks. *MAGMA* 2010 ; 23 (5-6) : 409-21.
- Vogt BA, Berger GR, Derbyshire SWJ. Structural and Functional dichotomy of human midcingulate cortex. *Eur J Neurosci* 2003 ; 18:3134-3144.
- Rolls ET. The cingulate cortex and limbic systems for emotion, action, and memory. *Brain Struct Funct* 2019 ; 224 (9) : 3001-18.
- Weston CS. Posttraumatic stress disorder: a theoretical model of the hyperarousal subtype. *Front Psychiatry* 2014 ; 5 : 37.
- Vogt BA, Laureys S. "The primate posterior cingulate gyrus: connections, sensorimotor orientation, gateway to limbic processing." In: Vogt BA (ed). *Cingulate neurobiology and disease*. Oxford : Oxford University Press, 2009. pp. 275-308.
- Vogt BA (ed). *Handbook of clinical neurology: cingulate cortex. handbook of clinical neurology*. 3. New York : Elsevier, 2019.
- Palomero-Gallagher N, Vogt BA, Schleicher A, Mayberg HS, Zilles K. Receptor architecture of human cingulate cortex: evaluation of the four-region neurobiological model. *Hum Brain Mapp* 2009 ; 30 (8) : 2336-55.
- Vogt BA. Midcingulate cortex: Structure, connections, homologies, functions and diseases. *J Chem Neuroanat* 2016 ; 74 : 28-46.
- Bush G, Vogt BA, Holmes J, Dale AM, Greve D, et al. Dorsal anterior cingulate cortex: a role in reward-based decision making. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2002 ; 99 (1) : 523-8.
- Rolls ET, Wirth S. Spatial representations in the primate hippocampus, and their functions in memory and navigation. *Prog Neurobiol* 2018 ; 171 : 90-113.
- Rolls ET. The cingulate cortex and limbic systems for emotion, action, and memory. *Brain Struct Funct* 2019 ; 224 (9) : 3001-18.
- Bonnelle V, Leech R, Kinnunen KM, Ham TE, Beckmann CF, De Boissezon X, et al. Default mode network connectivity predicts sustained attention deficits after traumatic brain injury. *J Neurosci* 2011 ; 31 : 13442-51.
- Rolls ET. The cingulate cortex and limbic systems for emotion, action, and memory. *Brain Struct Funct* 2019 ; 224 (9) : 3001-18.
- Vogt BA, Laureys S. "The primate posterior cingulate gyrus: connections, sensorimotor orientation, gateway to limbic processing." In: Vogt BA, editor. *Cingulate neurobiology and disease*. Oxford : Oxford University Press, 2009. pp. 275-308.
- Bush G, Luu P, Posner MI. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci* 2000 ; 4 (6) : 215-222.
- Dosenbach NU, Fair DA, Cohen AL, Schlaggar BL, Petersen SE. A dual-networks architecture of top-down control. *Trends Cogn Sci* 2008 ; 12 (3) : 99-105.
- Monsell S. Control of mental processes. In V. Bruce (editor). *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition*. Erlbaum (UK) : Taylor & Francis Publisher, 1996.
- Weston CS. Another major function of the anterior cingulate cortex: the representation of requirements. *Neurosci Biobehav Rev* 2012 ; 36 (1) : 90-110.
- Craig AD. Interoception: the sense of the physiological condition of the body. *Curr Opin Neurobiol* 2003 ; 13 (4) : 500-505.
- Seamans JK. The anterior cingulate cortex and event-based modulation of autonomic states. *Int Rev Neurobiol* 2021 ; 158 : 135-69.
- Crottaz-Herbette S, Menon V. Where and when the anterior cingulate cortex modulates attentional response: combined fMRI and ERP evidence. *J Cogn Neurosci* 2006 ; 18 (5) : 766-80.
- Yantis S. The neural basis of selective attention: cortical sources and targets of attentional modulation. *Curr Dir Psychol Sci* 2008 ; 17 (2) : 86-90.
- Menon V, Uddin LQ. Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain Struct Funct* 2010 ; 214 (5-6) : 655-67.
- Hausman HK, Hardcastle C, Albizu A, Kraft JN, Evangelista ND, et al. Cingulo-opercular and frontoparietal control network connectivity and executive functioning in older adults. *Geroscience* 2022 ; 44 (2) : 847-66.
- Devinsky O, Morrell MJ, Vogt BA. Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain* 1995 ; 118 (Pt 1) : 279-306.
- LeDoux JE. Coming to terms with fear. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2014 ; 111 (8) : 2871-8.
- LeDoux J. Rethinking the emotional brain [published correction appears in *Neuron* 2012 ; 73 (5) : 1052]. *Neuron* 2012 ; 73 (4) : 653-676.
- Bush G, Luu P, Posner MI. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci* 2000 ; 4 (6) : 215-222.
- Smith R, Ahern GL, Lane RD. The role of anterior and midcingulate cortex in emotional awareness : A domain-general processing perspective. *Handb Clin Neurol* 2019 ; 166 : 89-101.
- Swain JE, Lorberbaum JP, Kose S, Strathearn L. Brain basis of early parent-infant interactions: psychology, physiology, and in vivo functional neuroimaging studies. *J Child Psychol Psychiatry* 2007 ; 48 (3-4) : 262-87.
- Binder JR, Frost JA, Hammeke TA, Bellgowan PS, Rao SM, Cox RW. Conceptual processing during the conscious resting state. A functional MRI study. *J Cogn Neurosci* 1999 ; 11 : 80-95.
- Gusnard DA, Akbudak E, Shulman GL, Raichle ME. Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity : relation to a default mode of brain function. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001 ; 98 : 4259-64.
- Hayden BY, Nair AC, McCoy AN, Platt ML. Posterior cingulate cortex mediates outcome-contingent allocation of behavior. *Neuron* 2008 ; 60 : 19-25.
- Pearson JM, Hayden BY, Raghavachari S, Platt ML. Neurons in posterior cingulate cortex signal exploratory decisions in a dynamic multi-option choice task. *Curr Biol* 2009 ; 19 : 1532-7.
- Scheltens NME, van der Weijden K, Adriaanse SM, van Assema D, Oomen PP, et al. Hypometabolism of the posterior cingulate cortex is not restricted to Alzheimer's disease. *Neuroimage Clin* 2018 ; 19 : 625-632.
- Yamashita KI, Uehara T, Prawiroharjo P, Yamashita K, Togao O, et al. Functional connectivity change between posterior cingulate cortex and ventral attention network relates to the impairment of orientation for time in Alzheimer's disease patients. *Brain Imaging Behav* 2019 ; 13 (1) : 154-161.
- Leech R, Sharp DJ. The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. *Brain* 2014 ; 137 (Pt 1) : 12-32.
- Hayes JP, Hayes SM, Mikedis AM. Quantitative meta-analysis of neural activity in posttraumatic stress disorder. *Biol Mood Anxiety Disord* 2012 ; 2 : 9.
- Weston CS. Posttraumatic stress disorder : a theoretical model of the hyperarousal subtype. *Front Psychiatry* 2014 ; 5 : 37.
- Bremner JD, Narayan M, Staib LH, Southwick SM, McGlashan T, Charney DS. Neural correlates of memories of childhood sexual abuse in women with and without posttraumatic stress disorder. *Am J Psychiatry* 1999 ; 156 (11) : 1787-95.
- Garcia R, Vouimba R-M, Baudry M, Thompson RF. The amygdala modulates prefrontal cortex activity relative to conditioned fear. *Nature* 1999 ; 402 : 294-6.
- Pérez-Jaranay JM, Vives F. Electrophysiological study of the response of medial prefrontal cortex neurons to stimulation of the basolateral nucleus of the amygdala in the rat. *Brain Res* 1991 ; 564 : 97-101.
- Vogt BA. Pain and emotion interactions in subregions of the cingulate gyrus. *Nat Rev Neurosci* 2005 ; 6 (7) : 533-44.
- Shackman AJ, Salomons TV, Slagter HA, Fox AS, Winter JJ, Davidson RJ. The integration of negative affect, pain and cognitive control in the cingulate cortex. *Nat Rev Neurosci* 2011 ; 12 (3) : 154-67.
- van Heukelum S, Tulva K, Geers FE, van Dulm S, Ruisch IH, Mill J, et al. A central role for anterior cingulate cortex in the control of pathological aggression. *Curr Biol* 2021 ; 31 (11) : 2321-2333.e5.
- Bush G. Dorsal anterior midcingulate cortex : roles in normal cognition and disruption in attention-deficit/hyperactivity disorder. In : Vogt BA, editor. *Cingulate Neurobiology and Disease*. New York : Oxford University Press, 2009. pp. 245-74.
- Weston CSE. Another major function of the anterior cingulate cortex : the representation of requirements. *Neurosci Biobehav Rev* 2012 ; 36 (1) : 90-110.

51. Degos JD, da Fonseca N, Gray F, Cesaro P. Severe frontal syndrome associated with infarcts of the left anterior cingulate gyrus and the head of the right caudate nucleus. *Brain* 1993 ; 116 : 1541-8.
52. Rosen HJ, Allison SC, Schauer GF, Gorno-Tempini ML, Weiner MW, Miller BL. Neuroanatomical correlates of behavioural disorders in dementia. *Brain* 2005 ; 128 : 2612-25.
53. Pardo JV, Lee JT, Sheikh SA, *et al.* Where the brain grows old : decline in anterior cingulate and medial prefrontal function with normal aging. *Neuroimage* 2007 ; 35 : 1231.
54. Otsuka Y, Osaka N, Morishita M, *et al.* Decreased activation of anterior cingulate cortex in the working memory of the elderly. *NeuroReport* 2006 ; 17 : 1479-82.
55. Felmingham KL, Williams LM, Kemp AH, Rennie C, Gordon E, Bryant RA. Anterior cingulate activity to salient stimuli is modulated by autonomic arousal in posttraumatic stress disorder. *Psychiatry Res* 2009 ; 173 (1) : 59-62.
56. Hamner MB, Lorberbaum JP, George MS. Potential role of the anterior cingulate cortex in PTSD : review and hypothesis. *Depress Anxiety* 1999 ; 9 (1) : 1-14.