

Université de Montréal

La caractérisation neuromagnétique de l'état d'attention sans réflexion chez les méditants zen dans un contexte d'émotions visuelles négatives.

par

Jérôme Courtemanche

Département des Sciences biomédicales

Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté de médecine
en vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc)
en Sciences biomédicales

Janvier 2013

© Jérôme Courtemanche

Résumé

L'état d'attention sans réflexion, aussi appelé « mindfulness », a démontré des effets positifs en clinique pour les désordres émotionnels associés à diverses conditions. Le nombre d'études portant sur la caractérisation des substrats neuronaux de cet état attentionnel croît, mais il importe d'investiguer davantage à ce chapitre pour éventuellement améliorer les interventions cliniques. La présente étude compte aider à déterminer, par la magnétoencéphalographie, quelles régions cérébrales sont en corrélation avec le mindfulness chez des experts, i.e. des méditants Zen. Ces derniers cultivent un état dans lequel ils s'abstiennent de rechercher ou de rejeter les phénomènes sensoriels, ce qui en fait d'excellents candidats à la présente étude. Dans un contexte de stimulations visuelles émotionnelles, il fut demandé aux méditants tantôt d'observer les images dans un état de mindfulness (condition expérimentale), tantôt dans un état dit normal (condition contrôle) où aucun effort particulier d'attention n'était requis. Les résultats d'analyse suggèrent que les participants expérimentèrent une intensité émotionnelle moins importante en mindfulness : les cotes subjectives ainsi qu'une réponse magnétique cérébrale reliée aux émotions nommée Potentiel Positif Tardif magnétique (PPTm) suggèrent cela. Cependant, le résultat le plus statistiquement probant dépasse la nature affective des stimuli. Il s'agit d'une diminution temporellement soutenue de l'activité de fréquence gamma au niveau des zones visuelles associatives du lobe temporal droit, sans égard à la nature des images. Également, une suppression de l'activité gamma d'une zone du cortex préfrontal latéral gauche fut observée. Ceci pourrait indiquer une diminution de la conceptualisation des stimuli reliée au langage et aux processus réflexifs du soi.

Mots clés : Magnétoencéphalographie, régulation émotionnelle, fréquence gamma, potentiel positif tardif, émotion, méditation, mindfulness, zen, bouddhisme.

Abstract

Non-elaborative attentional stance, called mindfulness, demonstrated many positive clinical effects on emotional disorders associated with various medical conditions. The amount of scientific papers addressing the neuronal basis of this attentional stance increases but there is still a need to further investigate, in order to potentially improve clinical interventions. The present study aims to determine, by use of magnetoencephalography, which brain regions correlate with mindfulness in experts, namely, zen meditators. These people cultivate a state in which they abstain from rejecting or seeking sensorial phenomena. In a context of emotional visual stimulation, meditators were instructed to observe images with mindfulness (experimental condition) or without making any effort to do so (control condition). Results suggest that participants experienced less intense emotions in a state of mindfulness: both subjective ratings and an evoked brain response known to be related to emotional intensity, the magnetic Late Positive Potential (mLPP), suggest this. However, the most statistically convincing result surpasses the emotional nature of the presented stimuli. It is a sustained diminution of induced oscillations in the gamma band localized in visual associative regions of the right temporal lobe, regardless of the emotional nature of stimuli. Additionally, mindfulness is associated to a suppression of gamma activity in the left lateral prefrontal cortex. This may indicate a diminution of language-mediated conceptualization of visual stimuli and self-reflective processes. Those results bring a new light on the neural substrate of mindfulness, mostly studied with more limited brain imaging techniques on the level of temporal resolution.

Keywords : Magnetoencephalography, emotional regulation, gamma frequency, late positive potential, emotion, meditation, mindfulness, zen, buddhism.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Liste des abréviations	x
Remerciements	xii
Avant-propos	xiii
Chapitre 1 : Introduction	1
1.1 La régulation émotionnelle	1
1.2 Le mindfulness et la régulation émotionnelle.....	2
1.3 Méditation, SRE, IRMf.....	3
1.4 Méditation, SRE, EEG.....	4
1.5 La pratique de la méditation assise zen est une Méditation Mindfulness.....	5
1.6 L’approche bouddhiste de régulation émotionnelle.....	7
1.7 Hypothèses expérimentales.....	8
Chapitre 2 : Méthode	9
2.1 Participants.....	9
2.2 Questionnaires.....	9
2.3 Procédure expérimentale.....	10
2.4 Enregistrement MEG	12
2.5 IRM neuroanatomique	13
2.6 Prétraitement et paramètres généraux d’analyse.....	13
2.7 Analyse basée sur les senseurs.....	15
2.7.1 Données initiales.....	15
2.7.2 Analyse des champs évoqués.....	15
2.7.3 Analyse des oscillations induites	15
2.7.4 Analyse des oscillations évoquées.....	16
2.8 Analyse de localisation de source	18

Chapitre 3 : Résultats	19
3.1 Caractérisation de l'échantillon	19
3.2 Résultats comportementaux	19
3.2.1 Échelle Mindfulness de Toronto	19
3.2.2 Cote de Mindfulness	19
3.2.3 Cote d'intensité émotionnelle	19
3.2.4 Relation entre les données comportementales	20
3.3 Résultats de neuroimagerie	21
3.3.1 Champs magnétiques évoqués	21
3.3.1.1 Analyse topographique des champs magnétiques évoqués	21
3.3.1.2 Analyse de localisation des sources neuronales des champs magnétiques évoqués.....	22
3.3.1.3 Corrélations entre les données comportementales et les champs magnétiques évoqués	23
3.3.2 Oscillations induites.....	25
3.3.2.1 Oscillations induites globales	25
3.3.2.2 Oscillations induites topographiques	26
3.3.2.3 Localisation des sources neuronales des oscillations induites.....	27
3.3.2.4 Corrélations entre les données comportementales et les oscillations induites.....	29
3.3.3 Oscillations évoquées.....	31
3.3.3.1 Oscillations évoquées globales	31
3.3.3.2 Oscillations évoquées topographiques	32
3.3.3.3 Localisation des sources neuronales des oscillations évoquées.....	32
3.3.3.4 Corrélations entre le PPTm et les oscillations magnétiques.....	32
Chapitre 4 : Discussion	34
4.1 Le Potentiel positif tardif magnétique.....	34
4.2 Oscillations magnétiques évoquées	36
4.3 Oscillations magnétiques induites.....	36
4.3.1 Oscillations gamma, conceptualisation et émotions	37
4.3.2 Oscillations gamma et attention.....	37
4.3.3 Oscillations gamma et méditation.....	38
4.4 Recoupement entre le mindfulness et l'alexithymie	39

4.5 Les émotions et le centre cérébral de la parole	40
4.6 L'hypothèse de Austin	41
4.7 Absence d'activité dans les régions corticales médianes.....	42
4.8 Note sur le procédé d'analyse	42
Limitations	43
Bibliographie	44

Liste des figures

Figure 1 : Paradigme expérimental	11
Figure 2 : Appareils de mesure	12
Figure 3 : Alignement du cerveau avec les senseurs MEG	14
Figure 4 : Schéma du procédé d'analyse	17
Figure 5 : Cotes de l'intensité des émotions ressenties à la vue des images	20
Figure 6 : Tracés neuromagnétiques	21
Figure 7 : Localisation des sources neuronales de la réponse évoquée par les émotions	22
Figure 8 : Localisation des sources neuronales de le PPTm	24
Figure 9 : ANOVA sur l'oscillation globale	26
Figure 10 : ANOVA sur les topographies 3D des oscillations magnétiques	27
Figure 11 : Localisation des sources neuronales des oscillations induites.	28
Figure 12 : Covariation de l'activité gamma avec le nombre d'heures de MM	30
Figure 13 : Covariation de l'activité gamma du lobe temporal droit avec le nombre d'heures de MM	30
Figure 14 : Localisation des sources neuronales des oscillations évoquées.	33

Liste des tableaux

Tableau I : Localisation des sources neuronales de la réponse évoquée par les émotions	23
Tableau II : Localisation des sources neuronales du PPTm	25
Tableau III : Localisation des sources neuronales des oscillations induites.	29
Tableau IV : Localisation des sources neuronales des oscillations évoquées.	33

Liste des annexes

Annexe I : Échelle Mindfulness de Toronto	51
Annexe II : Inventaire Mindfulness de Freiburg.....	52
Annexe III : Questionnaire de style de gestion émotionnelle.....	53
Annexe IV : Liste des images de l'IAPS et spécification de leur valence et intensité émotionnelles.....	56
Annexe V : Analyses supplémentaires	58
Annexe VI : Liste des publications.....	60

*Je dédie les fruits de ce travail
à tous les êtres.
Bonne continuité aux méditants!*

Liste des abréviations

ANOVA, analyse de variance

CA, clignement attentionnel

COF, cortex orbitofrontal

CPLIG, cortex préfrontal inférieur gauche

D, droit

df, degré de liberté

EEG, électroencéphalographie

EMT, échelle de mindfulness de Toronto

EMTc, sous-échelle curiosité du EMT

EMTd, sous-échelle détachement du EMT

EOG, électro-oculogramme

G, gauche

Hz, hertz

IAPS, international affective picture system

IMF, Inventaire mindfulness de Freiburg

Inf, inférieur

IRM, imagerie par résonance magnétique

Ke, nombre de voxels minimal d'un groupement

MBSR, mindfulness-based stress reduction

Med, médian

MEG, magnétoencéphalographie

MNI, Montreal neurological institute

MM, méditation mindfulness

PPT, potentiel positif tardif

PPTm, potentiel positif tardif magnétique

SPM, statistical parametric mapping

SRE, stratégie de régulation émotionnelle

Sup, supérieur

Supp, supplémentaire

T, valeur statistique T

Tmax, valeur T du voxel le plus significatif d'un groupement

Tsu, test de significativité unilatérale

μ , moyenne

σ , écart-type

Remerciements

Ici un mot de remerciement pour ceux qui ont jalonné la progression du présent travail. D'abord ma reconnaissance s'adresse à Joshua Grant, ami et collaborateur, pour avoir été mon interlocuteur préféré sur les thèmes qui touchent les recherches que nous avons menées. L'opportunité donnée par mon directeur Mario Beauregard d'utiliser des outils technologiques de pointe afin d'étudier de façon scientifique le phénomène qui m'intéresse le plus au monde évoque chez moi une profonde gratitude, laquelle est aussi offerte pour la même raison à Pierre Jolicoeur et Franco Lepore. Merci à Pierre Rainville, un modèle de rigueur scientifique qui a accompagné d'une façon subtile mais définie ma démarche. Vladimir Litvak, qui à un moment où les analyses durent être refaites à cause de certaines particularités de notre appareil de mesure, m'aida patiemment dans le processus de familiarisation et d'amélioration de la version 8 du logiciel SPM. Merci à l'accueil de Vincent Paquette, Johanne Lévesque et Élisabeth Perreault-Link au Laboratoire de la Conscience et des Émotions. Manon Robert, Mathieu Desrosiers, Carolyn Hurst, Marleine Tremblay pour leur soutien technique dans l'acquisition des données. Bien que nos collaborations aient été le plus souvent indirectes, je salue Fabienne Samson, Pierre Orban, Emma Duerden, Rafael Daigneault et Estelle Breton. La famille Belleudy pour leur sollicitude et hospitalité en fin de rédaction. Finalement, je remercie profondément toute ma famille, qui m'a soutenu à moult niveaux dans mon (quasi) éternel projet.

Avant-propos

Le bouddhisme est un enseignement millénaire qui requérait jadis une mesure de foi directe dans la doctrine pour l'initiation même de la pratique. Ce n'est désormais plus exclusivement le cas, à cause du croissant degré de confiance que nous procure la science en certains dogmes bouddhiques. Néanmoins, après un certain entraînement personnel, les bénéfices obtenus par le pratiquant deviennent une motivation suffisante et inégalable pour ce dernier dans sa persévérance.

La science ne peut guère explorer toute l'étendue du système philosophique bouddhique, mais uniquement former un corps de connaissances épuré d'assertions qui dépasseraient la portée de l'empirisme classique.

Les neurosciences spirituelles ont pour objectif d'identifier et de caractériser neurologiquement les pratiques et tenants vérifiables des philosophies et religions. Idéalement, la caractérisation de l'effet des pratiques spirituelles sur le cerveau permettra d'identifier les facteurs clés dans les bienfaits psychologiques qu'elles pourraient apporter; facteurs qu'il sera sage d'intégrer dans des interventions cliniques. Cette approche sécularisera les pratiques religieuses, qui peuvent à tout le moins être considéré comme étant autant d'outils d'interventions psychologiques potentiels. C'est dans ce mouvement pragmatique de sécularisation des propositions philosophiques et religieuses qui promettent un mieux-être psychologique que l'étude des effets de la méditation bouddhiste sur les fonctions cognitives et affectives s'inscrit. Le présent travail y prend part.

Parmi les instruments non-invasifs les plus sophistiqués pour mesurer l'activité neuronales, la magnétoencéphalographie est un outil qui promet de repousser les limites du connu comme jamais à cause de ses hautes résolutions temporelle et spatiale. C'est véritablement une chance inouïe que d'avoir accès à un tel instrument.

Chapitre 1 : Introduction

1.1 La régulation émotionnelle

Il est largement connu que les couches profondes du cerveau humain ont une origine évolutivement reculée et une forte similitude avec celles des autres mammifères. Nombre de ces régions ont des fonctions affectives de première importance pour la survie telles que la peur, la rage, le désir et le jeu. (Panksepp, 2004). Plus récent évolutivement, le néocortex soutient des fonctions cognitives supérieures telles que le raisonnement, la conceptualisation, la planification et la résolution de problèmes. L'interaction entre ces deux paliers de fonctions peut être positive ou négative. Précisément, les fonctions cognitives supérieures peuvent inhiber ou exciter les fonctions affectives (Ochsner et al. 2004). Si l'objectif est de diminuer l'emprise de certaines réactions émotionnelles et qu'on situe l'intervention sur le plan des fonctions supérieures, il s'agit donc de les inhiber et/ou d'éviter leur excitation. Ces deux approches sont étudiées en détail et sous-divisées en stratégies de régulation émotionnelle (SRE), définies comme tout processus par lesquels les individus influencent quelles émotions ils ont, quand ils les ont, comment ils en font l'expérience et les expriment (Gross, 1998).

Le thème de recherche de la régulation émotionnelle a largement profité autant de l'avènement des neurosciences cognitives et affectives que de sa portée clinique sur des désordres tels que la dépression et l'anxiété généralisée. Plusieurs équipes de recherches fournissent actuellement un effort de caractérisation neurologique des SRE avec le recours de la croissante précision des techniques d'imagerie cérébrale disponibles. La classification classique des SRE impose cinq familles : sélection de situation, modification de situation, déploiement attentionnel, changement cognitif et modulation de la réponse (Gross, 1998). Des différences ainsi que des similitudes neurologiques entre certaines SRE ont été démontrées (Kanske et al., 2010; Goldin et al., 2007). Par exemple, le changement cognitif par réinterprétation (« recadrage cognitif ») est associé à une plus grande activité du cortex orbitofrontal (COF) qu'en déploiement attentionnel par distraction volontaire (Kanske et al., 2010). Toutefois, ces deux SRE diminuent l'activité du noyau amygdalien et du cortex

préfrontal ventromédian. Une autre étude comparative démontra une plus forte régulation à la baisse de l'activité de l'amygdale et de l'insula en recadrage cognitif qu'en modulation de la réponse par suppression de l'expression faciale normalement élicitée lors de la présentation d'images répulsives (Goldin et al., 2007).

1.2 Le mindfulness et la régulation émotionnelle

L'attention sans réflexion, phénomène auquel nous référerons dans ce travail par le terme « mindfulness », est un processus psychologique prôné initialement au 5^{ième} siècle A.D. par Gotama Bouddha, originaire du Népal. En occident, le mindfulness est défini comme suit:

« Conscience du moment présent, sans élaboration ni jugement dans laquelle chaque pensée, sentiment, ou sensation qui apparaissent dans le champ attentionnel est remarqué et accepté tel qu'il est. (Bishop et al., 2004) »

Le mindfulness a longtemps été considéré comme étant potentiellement un facteur clé dans de nombreuses thérapies, bien qu'il y soit parfois qu'officieusement intégré (Martin, 1997). Un article récent révisa l'impact clinique de programmes d'intervention qui accordent une grande place à la méditation mindfulness (MM, Chiesa & Serretti, 2009). Il y fut relevé par les auteurs que plusieurs études contrôlées procurent des résultats statistiquement convaincants qui suggèrent des bénéfices dans le cas de désordres de l'humeur ou d'anxiété. Les programmes dont il est particulièrement question sont connus sous le nom de Mindfulness-Based Stress Reduction (MBSR, Kabat-Zinn et al., 1985) et Mindfulness-Based Cognitive Therapy (Teasdale et al. 1995). La MBSR démontre une patente polyvalence: en plus de soulager le stress associé à différentes maladies physiques dont la douleur chronique, la fibromyalgie et le cancer (pour une revue, Chiesa & Serretti, 2009; pour une méta-analyse, voir Grossman et al. 2004), il apparait aussi qu'elle diminue le stress des gens en santé

(Chielsa & Serretti, 2010). Pour illustrer cette dernière facette plus préventive de la MM, citons deux études contrôlées, l'une sur 227 (Rosenzweig et al., 2003) et l'autre sur 73 (Shapiro et al., 1998) étudiants en médecine.

Certains chercheurs spéculent que l'amélioration du système de régulation émotionnelle est à l'origine des bénéfices du mindfulness mentionnés plus haut (Chambers et al., 2009). Des évidences scientifiques supportent cette hypothèse (Garland et al., 2011; Shahar et al., 2010). Les faits que plusieurs désordres psychologiques soient associés à une réduction de la capacité à réguler les émotions (Gross, 1998; Davidson, 2000) et que la MM soit associée à une diminution des humeurs négatives (Jha et al., 2010) convergent aussi en ce sens. De surcroît, les gens qui, même sans pratiquer la méditation, ont naturellement plus de mindfulness présentent moins de traits névrotiques et d'affects négatifs (Brown et al., 2012).

1.3 Méditation, SRE, IRMf

Étant donné que la MM offre des bienfaits psychologiques touchant les émotions en clinique, il paraît conséquent d'étudier les substrats neuronaux du mindfulness de la même façon que d'autres SRE le furent, c'est-à-dire en soumettant des participants à des perturbations visuelles émotionnelles. La première étude se rapprochant de ce paradigme fut réalisée en 2001 sur des participants sans expérience méditative auxquels il fut demandé de prendre une perspective distante par rapport à des films érotiques (Beauregard et al., 2001). Un des résultats principaux de cette étude utilisant l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) est l'activation du cortex préfrontal supérieur et de l'antérieur cingulaire en régulation émotionnelle. Toutefois, ce n'était qu'une étude préliminaire et le manque de comparaison statistique directe entre les deux conditions expérimentales de cette étude limite l'étendue des conclusions pouvant être obtenues. Plus récemment, une étude plus sophistiquée fut entreprise par notre groupe de recherche. Nos résultats suggèrent une diminution de l'activité du cortex préfrontal médian et du cortex cingulaire postérieur chez les méditants expérimentés par rapport à des débutants (Taylor et al., 2011). Soumis à des images de valence émotionnelle

négative, les méditants expérimentés diminuèrent l'activité du cortex préfrontal latéral. Contre-intuitivement, les méditants ne désactivèrent pas de zones du cortex limbique de façon perceptible par l'IRMf.

1.4 Méditation, SRE, EEG

Le potentiel positif tardif (PPT) est un indice électrophysiologique classique de l'intensité émotionnelle à la vue d'images chargées émotionnellement survenant après 400 ms et durant plusieurs centaines de millisecondes (Cuthbert et al., 2000; Schupp et al., 2000). Le PPT reflèterait la prégnance des stimuli émotionnels (Hacjak et al., 2010). Une étude utilisant l'électroencéphalogramme montre que les individus ayant une plus grande inclination naturelle au mindfulness ont un PPT moins prononcé que les autres à la vue d'images négatives (Brown et al., 2012). Une autre étude sur 13 praticiens de la méditation mindfulness montre chez ceux-ci une différence moins marquée que chez des non-praticiens entre les images négatives et neutres au niveau du PPT. Précisément, alors que le PPT fut observée chez les non-praticiens, ce ne fut pas autant le cas chez les praticiens (Sobolewski et al., 2011).

L'origine neuronale du PPT inclurait des régions déjà reliées au traitement émotionnel telles que l'insula, le gyrus parahippocampal et le cortex médian, principalement postérieur, chez des personnes phobiques (Scharmüller et al., 2011). Toutefois, une autre étude reliant l'activité électrophysiologique et la réponse hémodynamique localise la source du PPT dans des régions beaucoup plus latérales incluant le cortex occipital et pariétal chez des normaux (Sabatinelli et al., 2007). Notons que Sabatinelli et collègues ne fournirent pas de statistiques sur la localisation de source alors que Scharmüller et collègues, bien qu'ayant quant à eux fourni ces précieuses statistiques, s'intéressèrent à une population clinique particulière, ce qui met en doute les possibilités de généralisation des résultats aux autres populations. D'autres études existent sur la localisation du PPT (Baetens et al., 2011; Frühholz et al., 2009; Keil et al. 2002; Shupp et al., 2007) mais la qualité des résultats est insatisfaisante eu égard aux avancées récentes sur le plan des analyses de localisation de source. L'étude la plus probante qui existe pour l'instant indique que les sources corticales du PPT se situeraient au niveau

occipitopariétal bilatéralement ainsi que latéral préfrontal droit (Moratti et al., 2011). Ces régions, par ailleurs, sont liées par une interaction bidirectionnelle, particulièrement lorsque les images sont déplaisantes.

Un phénomène plus spécifiquement cognitif, le clignement attentionnel (CA), a été étudié par Slagter et collègues chez des méditants. Il est connu que lorsque deux stimuli visuels sont présentés en succession rapide, les humains peuvent facilement rapporter l'identité du premier, ce qui n'est pas le cas du deuxième dans le cas où il survient moins d'une demi-seconde ultérieurement au premier. L'allocation des ressources cognitives au premier stimulus, reflétée par un potentiel évoqué nommé P3b, serait un facteur limitant expliquant la difficulté des participants à identifier le deuxième stimulus. Un groupe de 17 participants ayant suivi une retraite intensive de 3 mois de MM fut comparé longitudinalement à un groupe contrôle de 23 débutants pour déterminer si ces derniers différaient sur le plan du CA et de la P3b. Les résultats suggèrent que les méditants diminuèrent leur CA de façon plus importante que les contrôles, ce qui indique que leur attention était moins capturée par le premier stimulus. Cette diminution de la capture attentionnelle par le premier stimulus n'a pas limité la capacité à l'identifier, ce qui suggère que les méditants ont simplement éliminé un processus superfétatoire à la tâche expérimentale. De plus, une corrélation fut observée entre la diminution longitudinale du CA et la P3b élicitée par le premier stimulus, supportant l'hypothèse que la pratique intensive de la MM améliore le partage des ressources cognitives dans le cadre d'une tâche d'identification successive. Le lien potentiel entre la P3b et la PPT sera soulevé en discussion.

1.5 La pratique de la méditation assise zen est une Méditation Mindfulness

La pratique du Zazen ("méditation assise") remonte aux Indes il y a plus de 2500 ans. Depuis, plusieurs écoles émergèrent avec des emphases différentes sur l'observance des règles de la moralité, de la pratique de la concentration et de la pratique de l'observation détachée de l'impermanence des phénomènes. Le Zen Soto est considéré comme mettant particulièrement

l'emphase sur la dernière. L'observation de l'impermanence des phénomènes (physiques et mentaux compris) et le mindfulness sont intimement liés. En effet, il est impossible d'observer l'impermanence des phénomènes sans une attention qui ne se laisse pas accaparer par différentes élaborations mentales ayant pour point de départ lesdits phénomènes. Bien que cet état d'attention doive être maintenu en toute circonstance tout au long des heures de veille, la méditation assise est une pratique fondamentale et incontournable de la tradition Zen. Voici une description de la méthode de méditation assise telle qu'enseignée par le maître zen japonais Dogen du 13^{ième} siècle, encore pratiquée aujourd'hui dans des centres de méditation comme celui dans lequel des méditants de notre étude pratiquèrent :

« Assoyez-vous droit. Ne penchez ni vers la gauche ou la droite, ni vers l'avant ou l'arrière. [...] La respiration doit se faire par le nez. Les lèvres et les dents doivent être closes. Les yeux doivent être ouverts, ni trop ni trop peu. Ayant ainsi régulé le corps et l'esprit, prenez une inspiration puis expirez profondément. Assis concentrés, pensez le non-penser. Comment penser le non-penser? Sans penser. » (Bielefeldt, internet 2012; traduction en français inspirée de Kasulis, 1981)

Une autre instruction ancienne rappelle beaucoup le concept occidental du mindfulness :

« Quand une pensée survient, soyez-en conscient; aussitôt que vous en serez conscient, elle disparaîtra. Si vous restez pour une longue période oublieux des objets, vous deviendrez naturellement unifiés. (Bielefeldt, 1998) »

Le terme « oublieux » fait référence à l'absence de rétention ou d'élaboration mentale sur les phénomènes sensoriels. Il s'agit donc d'être simplement conscient des événements lorsqu'ils se présentent puis de les laisser disparaître par eux-mêmes. Il devient facile de voir en quoi on peut considérer les méditants zen comme étant des experts en mindfulness.

1.6 L'approche bouddhiste de régulation émotionnelle

Dans le système psycho-philosophique bouddhiste, le mindfulness (« *sati* », en langue pali) est considéré comme étant un facteur mental (*cetasika*) essentiel à l'atteinte de la libération définitive des forces négatives dont la colère et l'envie. Néanmoins, l'utilité de *sati* ne se limite pas à l'atteinte de cet objectif sotériologique lointain car même sans égard à cela, dans le cas où les forces négatives ne seront pas éradiquées, ces dernières ne peuvent à tout le moins pas survenir au moment précis où *sati* est opérante. À la manière d'une porte bloquant l'accès aux voleurs, *sati* empêche les impulsions (*javana*) telles que la colère ou la convoitise de survenir. (Nanamoli, 1976).

Les *javanas* ne surviennent que tardivement dans la suite de phénomènes cognitifs. Précisément, elles surviennent après l'attention, la conscience visuelle, la réception, l'investigation et la détermination (voir Bodhi, 2000). Selon la théorie bouddhique, l'appréhension des concepts tels que « femme », « homme », « beauté », « pied », « sourire », « rire », etc. soient une condition nécessaire à l'apparition de ces impulsions :

« À la vue d'un objet [...], il n'appréhende ni les signes ni les particularités par lesquels, s'il laissait la faculté visuelle non-gardée, des états malsains et improfitables de convoitise et d'irritation pourraient l'envahir; il entreprend la voie de la restriction de la faculté visuelle. » (Nanamoli, 1976).

Avant les impulsions et la conceptualisation, la valence affective qui accompagne la vision est initialement neutre (*upekkha*) même quand le stimulus devient déplaisant. En effet, la déplaisance (*domassana*) est associée à une forme de colère ou d'irritation, lesquelles sont des impulsions (*javanas*) négatives.

« Cette sensation [déplaisante] accompagne seulement une conscience enracinée dans la colère et une telle conscience est nécessairement accompagnée par cette sensation [déplaisante]. (Bodhi, 2000). »

Selon la doctrine bouddhiste, la restriction de la faculté visuelle par le mindfulness préviendrait donc l'apparition de la déplaisance et de l'irritation en empêchant la conceptualisation des stimuli.

1.7 Hypothèses expérimentales

Se basant sur les études citées plus haut ainsi que sur la phénoménologie du mindfulness, on s'attend à ce que des méditants puissent diminuer l'activité cérébrale liée aux émotions (PPTm, le pendant magnétique du PPT) et à la conceptualisation des stimuli visuels par le cortex associatif (Thierry & Price, 2006). La présente étude est largement explorative; le procédé d'analyse utilisé vise à tirer de l'information des données avec le minimum d'a priori possible.

Chapitre 2 : Méthode

2.1 Participants

Neuf pratiquants de la méditation Zen (tous mâles, âge moyen = 37.1 ± 11.8 d'écart-type) ont participé à l'étude. Le nombre approximatif d'heures de pratique de la méditation s'échelonnait de 980 à 9885 (moyenne = 3776, écart-type = 2866). Tous avaient une vision normale ou corrigée avec des lentilles de contact ou des lunettes en plastique. Les critères d'exclusion incluaient : médication courante, claustrophobie, histoire de troubles neurologiques ou psychiatriques. Tous donnèrent leur accord à participer de façon écrite selon le protocole approuvé par le comité d'éthique à la recherche de la Faculté des Arts et des Sciences de l'Université de Montréal (CERFAS) et le Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal (CRIUGM).

2.2 Questionnaires

À la fin de l'expérience, l'échelle mindfulness de Toronto (EMT, Lau et al., 2006, Annexe I) fut administré aux participants. Ceci est un instrument de mesure validé, utilisé ici pour évaluer les états de mindfulness pendant les conditions expérimentales et dans leur méditation de façon générale. Deux autres questionnaires furent administrés : l'un concernant leur état de mindfulness dans les trente derniers jours (Inventaire mindfulness de Freiburg, IMF, Buchheld et al., 2002, Annexe II) et l'autre sur leur type de stratégie naturelle de gestion émotionnelle (Questionnaire de style de gestion émotionnelle, Roger et al., 1993, Annexe III). Ces questionnaires furent traduits de l'anglais au français par l'auteur, puis révisés indépendamment par une autre personne.

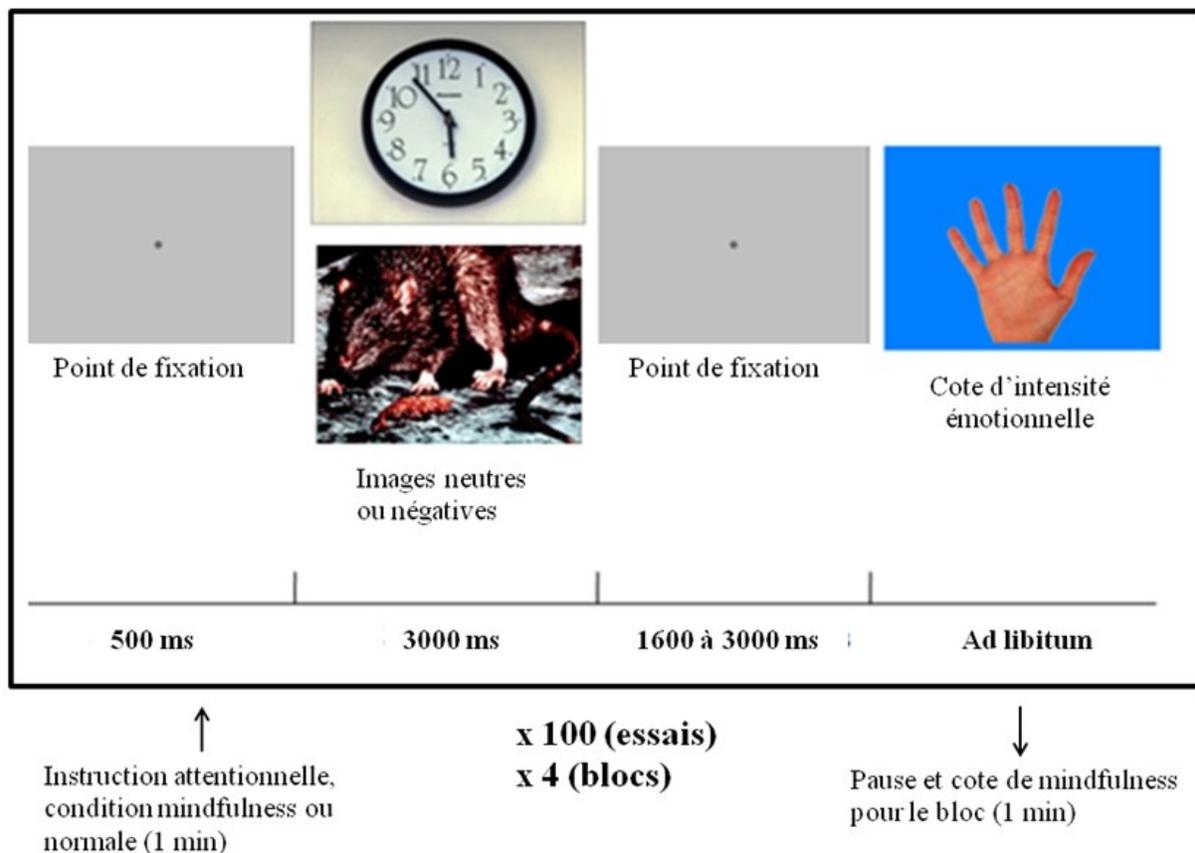
2.3 Procédure expérimentale

Un total de 400 images de l'*International Affective Picture System* (IAPS; Lang et al., 1999), laquelle constitue une banque validée de stimuli visuels émotionnels et neutres, furent présentées aux participants. Les images furent présentées dans une projection arrière sur un écran translucide situé 90 cm en face du participant assis sur une chaise. La grandeur des images était de 30 cm x 40 cm. L'expérience était divisée en 4 blocs de 100 essais (pour la liste des images de l'IAPS utilisées, voir l'annexe IV). Au début de chaque essai, un point de fixation gris foncé sur un fond gris pâle apparaissait pour une durée de 500 ms. Ce point restait toujours présent sauf pour la période de cotation du stimulus. Une image de l'IAPS incluant le même point gris centré apparaissait pour une durée de 3000 ms. Après la disparition de l'image de l'IAPS, le fond gris revenait pour une période de 1600 à 3000 ms. Les participants reçurent l'instruction de laisser leurs yeux sur le point central en tout temps, sans clignement. Des gouttes oculaires leur furent administrées pour les y aider.

Deux types d'images, à valence négative et neutre, étaient présentés. L'ordre des images était aléatoire avec la limitation que jamais plus de deux images de même valence furent présentées séquentiellement. Aucune tentative d'appariement des stimuli selon leurs caractéristiques physiques ne fut effectuée; la réactivité cérébrale émotionnelle ne s'en trouverait néanmoins pas affectée (De Cesarei & Codispoti, 2006, Bradley et al., 2007). Après 25 % des essais, les participants devaient coter l'intensité de l'émotion ressentie lors de la dernière image, ceci avec leur main droite sur un clavier à quatre touches, de « très forte » à « très faible ». L'intensité et la valence de ces images à coter étaient représentatives de l'ensemble des stimuli présentés. Une cote n'était pas demandée à chaque image pour éviter l'effet que cela pût avoir sur les processus émotionnels (Taylor et al., 2003). Les participants pouvaient cligner des yeux librement pendant cette période, et ce n'est que lorsque la cote fut effectuée que l'essai ultérieur survint.

Avant chaque bloc, les participants avaient 60 s pour lire l’instruction présentée sur l’écran indiquant la condition expérimentale. Les instructions furent aussi expliquées avant l’expérience pour assurer leur compréhension. Dans la condition expérimentale (2 blocs de 100 essais), il fut demandé aux participants de regarder les images en état de mindfulness (*condition mindfulness*). Dans la condition contrôle, ils furent instruits de les regarder de façon normale, c’est-à-dire sans faire d’effort pour moduler leur attention (*condition normale*). Les deux conditions alternèrent deux fois. Cinq participants commencèrent avec la condition normale et quatre avec la condition mindfulness. Après chaque bloc, les participants cotèrent leur niveau de mindfulness sur une échelle de 1 à 10. Voir la figure 1 pour une schématisation du paradigme expérimental.

Figure 1 : Paradigme expérimental

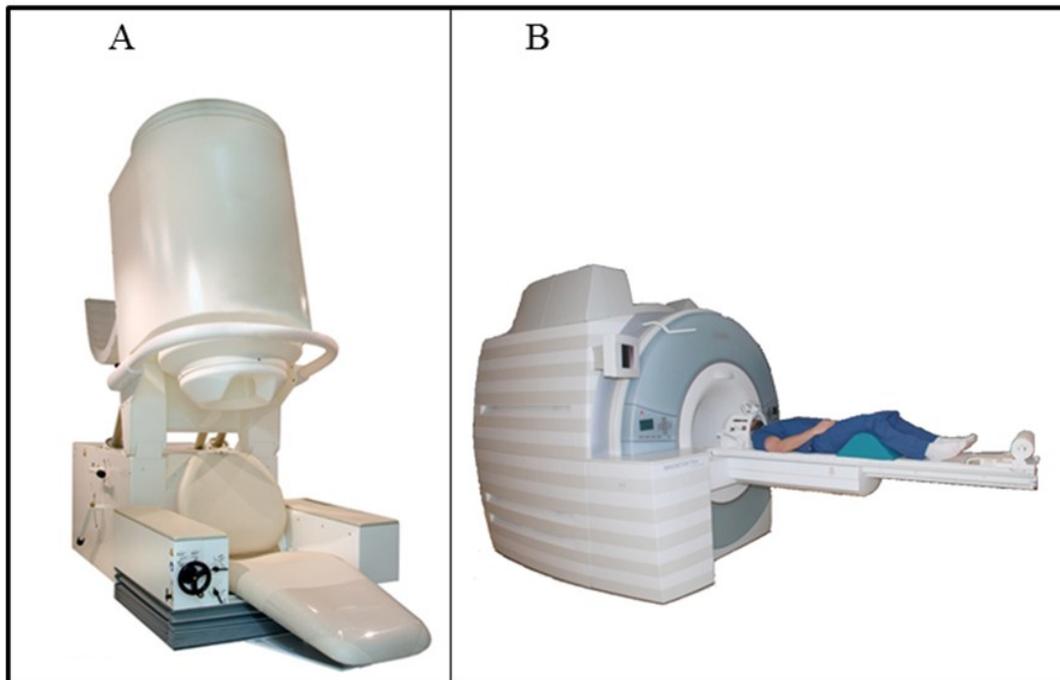


2.4 Enregistrement MEG

Les données magnétoencéphalographiques (MEG) furent acquises dans une chambre isolée magnétiquement utilisant un système magnétométrique muni de 275 senseurs, CTF-VSM MedTech (voir la figure 2A). Les données furent collectées à un échantillonnage de 160 Hz avec un filtre passe-bas fixé à 40 Hz pour éviter le repliement de spectre. Pour la durée de présentation des images (3 s) et le niveau de base pré-stimuli (100 ms), un total de 497 échantillons furent obtenus. Nous enregistrâmes également les données MEG de 29 canaux de référence permettant le calcul d'un algorithme de réduction du bruit par un gradiomètre synthétique du troisième ordre, lequel fut appliqué aux données primaires des 271 senseurs fonctionnels. Nous demandâmes aux participants d'éviter de bouger la tête et ils furent aidés à rester immobiles par une bande attachée à leur menton et des ajusteurs de styromousse. Des électrodes furent disposées sur canthi latéraux droit et gauche ainsi qu'au-dessus et en-dessous des yeux, pour mesurer les clignements ainsi que les mouvements oculaires involontaires.

Figure 2 : Appareils de mesure

Magnétoencéphalographie (A) et imagerie par résonance magnétique (B).



2.5 IRM neuroanatomique

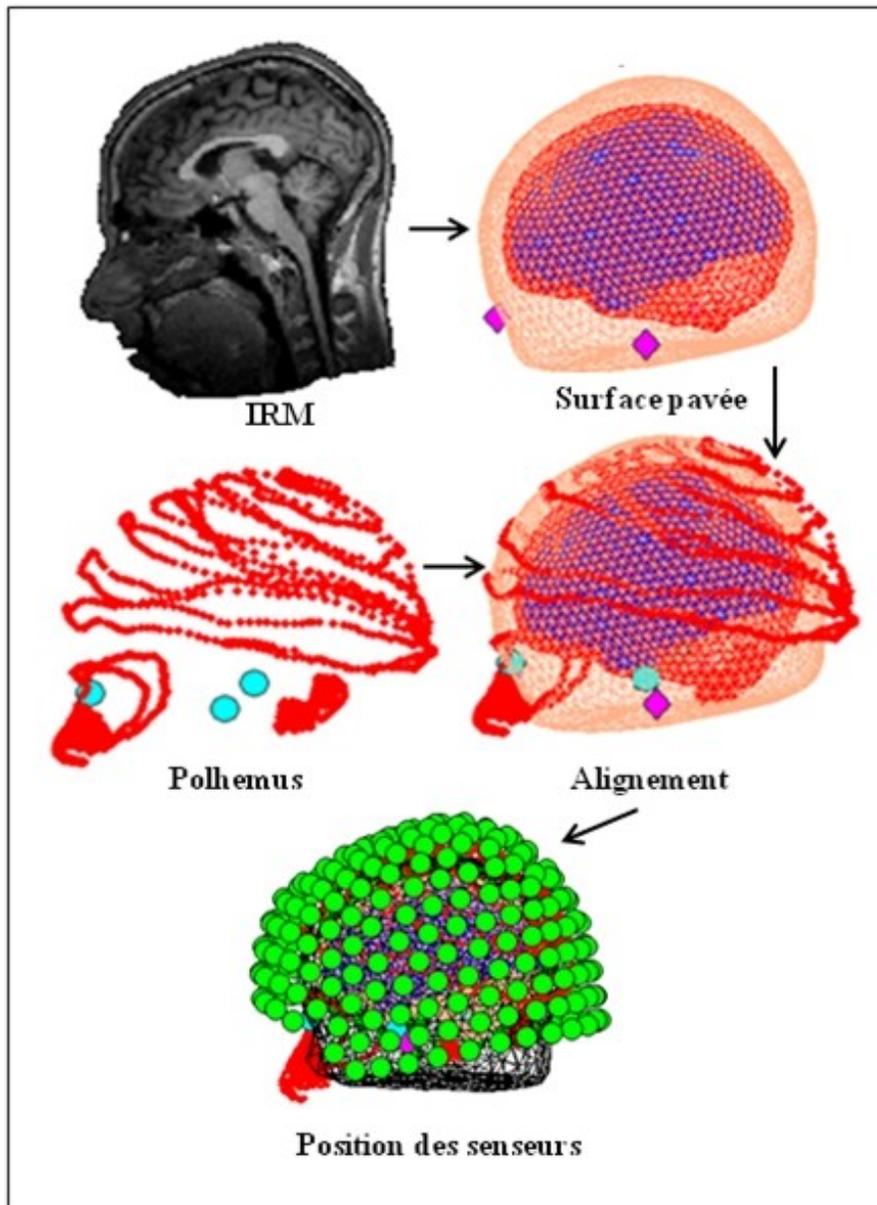
Pour fin de localisation de source du signal MEG, une image par résonance magnétique neuroanatomique (IRM) pesée T1 pour chaque sujet fut obtenue grâce à un scanner par résonance magnétique de 3 Tesla (Magnetom Trio, Siemens Electric, Erlangen, Allemagne, voir la figure 2B). Une séquence « gradient echo pulse » d'acquisition fut utilisée (3D MP-RAGE; TR = 2300 ms, TE = 2.94 ms, « flip angle » = 9°, FOV = 256 mm x 240 mm, « in plane resolution » = 1 mm x 1 mm). Un digitaliseur polhemus tridimensionnel mesura la forme de la tête et la position des trois bornes attachées à la tête comme marqueur fiduciaires (nasion et periauricule droit et gauche). Les données MEG furent alignées à l'image neuroanatomique pavée en faisant coïncider les surfaces par l'algorithme « Iterative Closest Point Algorithm » (Besl & McKay, 1992). Voir la figure 3 pour un schéma de l'alignement IRM-MEG.

2.6 Prétraitement et paramètres généraux d'analyse

Les données furent analysées avec le logiciel SPM8 (Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>). Pour chaque senseur, la moyenne du signal dans les 100 ms pré-stimulus fut soustraite à la période de présentation du stimulus de 3 s. Les données de l'EOG furent inspectées visuellement pour enlever les essais contaminés par des clignements et mouvements des yeux ainsi que d'autres artefacts dans le signal magnétique telle que provenant de l'activité paroxysmique et des lentes dérives du signal. Après ce tri, il resta une moyenne de 167 essais pour chaque condition. Subséquemment, une analyse par composantes principales telle qu'implémentée dans la fonction « runica » du programme EEGLAB version 9 (Delorme et Makeig, 2004) fut effectuée. Les composantes artéfactuelles d'origine cardiaque et oculaire furent identifiées visuellement selon leurs topographies et leurs décours temporels avant d'être par la suite soustraites du signal. Le seuil de significativité utilisé pour toutes les analyses est de $p < 0.005$ pour les voxels. L'extension du groupement de voxels (ke) minimale fut déterminée selon cette valeur de p et l'auto-corrélation des voxels en accord avec la théorie du « random-field » (Worsley et al., 1996). Ces seuils concernent tous les résultats rapportés, y compris pour

l'analyse de source, sauf si spécifié autrement. Pour toutes les analyses de régression, dont l'Analyse de variance (ANOVA) est un sous-type, un régresseur de nuisance par sujet fut inclus dans la matrice du modèle.

Figure 3 : Alignement du cerveau avec les senseurs MEG



2.7 Analyse basée sur les senseurs

2.7.1 Données initiales

L'ensemble des données initiales est constitué de 400 jeux de données, soit 4 groupes de 100 essais (excluant les artefacts, voir 2.6). Les quatre groupes se rapportent aux quatre combinaisons expérimentales :

- 1- condition mindfulness-stimulus neutre
- 2- condition mindfulness-stimulus négatif
- 3- condition normale-stimulus neutre
- 4- condition normale-stimulus négatif

2.7.2 Analyse des champs évoqués

Les 100 essais de chaque type furent moyennés, produisant ainsi quatre jeux de données (dimensions : 4 x 271 x 497). Ces derniers furent transformés en images topographiques en trois dimensions par interpolation du signal des senseurs. Les deux premières dimensions de ces images (64 x 64) sont arbitraires et se rapportent aux cartes topographiques du signal interpolé. La troisième dimension (497) est le temps et représente le nombre d'échantillons s'échelonnant de 100 ms pré-stimulus à 3 s post-stimulus. Ce sont ces images (64 x 64 x 497) qui furent soumises à des ANOVA des champs magnétiques évoqués.

2.7.3 Analyse des oscillations induites

Les 100 essais de chaque type furent décomposés, senseur par senseur, sur une bande de fréquence de 1 Hz à 48 Hz avec la transformée de Hilbert (résolution de fréquence = 0.5 Hz, ordre de filtre Butterworth = 3) pour produire 400 jeux de données en trois dimensions (271 x 497 x 48). Les 100 essais de chaque type furent moyennés, produisant ainsi quatre jeux de données. Ces derniers furent réduits en 2 dimensions en moyennant les senseurs ce qui produit des images temps-fréquence (497 x 48) auxquelles nous référerons par oscillation induites « globales ». Une ANOVA fut réalisée sur ces images. Les résultats de cette ANOVA

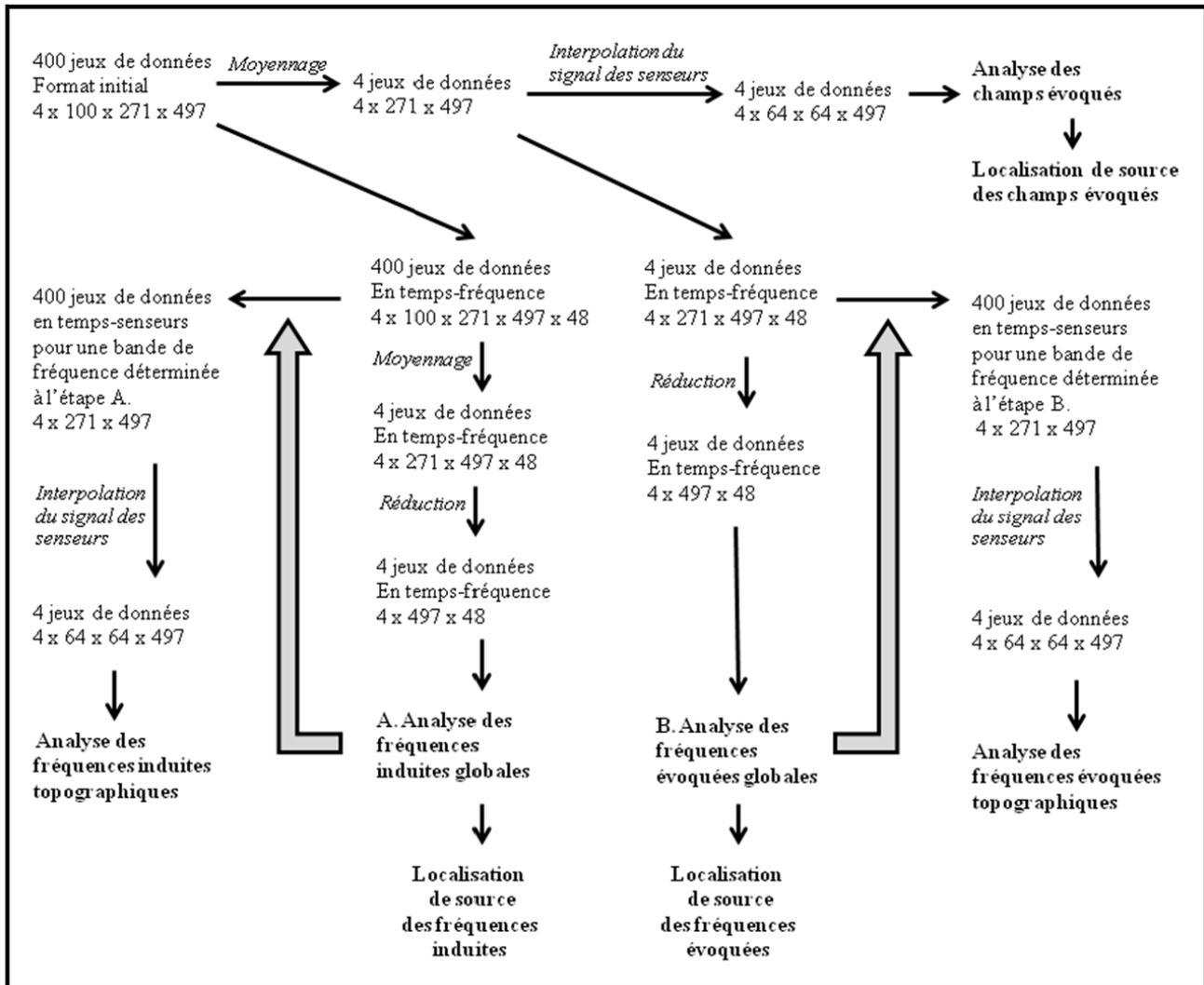
déterminèrent les fréquences d'intérêt pour l'étape subséquente d'analyse, où une réduction des mêmes images en trois dimensions (48 x 271 x 497) mentionnées plus haut fut réalisée, mais cette fois-ci produisant des données en senseurs-temps (271 x 497) pour une bande de fréquence précise. Ces dernières furent transformées en images topographiques de trois dimensions (64 x 64 x 497) par interpolation du signal des senseurs. Un lissage bidimensionnel de 3 cm fut appliqué aux images avant de les soumettre à une ANOVA.

2.7.4 Analyse des oscillations évoquées

Les 100 essais de chaque type furent moyennés, produisant ainsi quatre jeux de données (dimensions : 4 x 271 x 497). Ces derniers furent décomposés, senseur par senseur, sur une bande de fréquence de 1 Hz à 48 Hz avec la transformée de Hilbert (résolution de fréquence = 0.5 Hz, ordre de filtre Butterworth = 3) pour produire quatre jeux de données en trois dimensions (271 x 497 x 48). Ces derniers furent réduits en 2 dimensions en moyennant les senseurs ce qui produit des images temps-fréquence (497 x 48), auxquelles nous référerons par oscillation évoquées « globales ». Une ANOVA fut réalisée sur ces images. Les résultats de cette ANOVA déterminèrent les fréquences d'intérêt pour l'étape subséquente d'analyse, où une réduction des mêmes images en trois dimensions (48 x 271 x 497) mentionnées plus haut fut réalisée, mais cette fois-ci produisant des données en senseurs-temps (271 x 497) pour une bande de fréquence précise. Ces dernières furent transformées en images topographiques de trois dimensions (64 x 64 x 497) par interpolation du signal des senseurs. Un lissage bidimensionnel de 3 cm fut appliqué aux images avant de les soumettre à une ANOVA.

Figure 4 : Schéma du procédé d'analyse

Procédé d'analyse des champs évoqués, des fréquences induites et des fréquences évoquées. Dans les deux derniers types, il y a un retour en arrière simple (flèches bleues) après que des fréquences d'intérêt furent identifiées par une analyse statistique sans considération spatiale du signal. Les trois types d'analyses débouchèrent vers des analyses de localisation de source utilisant la neuroanatomie de chaque sujet.



2.8 Analyse de localisation de source

Une analyse de source du signal MEG selon le modèle distribué fut effectuée. Utilisant l'IRM de chaque participant, une surface corticale obtenue par pavage fut obtenue par normalisation inverse de la surface canonique pavée du Montreal Neurological Institute (MNI). À chacun des 8196 vertex de ces pavages corticaux, un dipôle fut placé orthogonalement à la surface. La solution directe utilisée était un "single shell" basé sur la superposition de fonctions de bases calculée par le logiciel Field Trip (F.C. Donders Centre for Cognitive Neuroimaging, Nijmegen), tel qu'implémenté dans SPM8. La méthode d'inversion fut de type « Minimum Norm » (Hamalainen et Ilmoniemi, 1994) mais avec des contraintes de groupe (Litvak et Friston et al., 2008).

Les plages temporelles et les fréquences utilisées comme paramètres de localisation de source sont issues des analyses basées sur les senseurs. Dans le cas de l'analyse des champs évoqués, toutes les fréquences furent incluses, ce qui est équivalent au calcul de la somme des carrés des amplitudes dans le domaine temporel (voir manuel SPM8, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/doc/manual.pdf>). Dans le cas des analyses de fréquences induites et évoquées, les bandes de fréquences et les fenêtres temporelles furent déterminées par les analyses temps-fréquence de l'activité moyenne mesurées par les senseurs (oscillations induites globales et oscillation évoquées globales). Des images de l'activité corticale en trois dimensions (2 mm isotropique) furent obtenues par localisation pour chaque type d'essai et pour chaque sujet. Un lissage spatial tridimensionnel de 3 cm isotropique fut appliqué sur ces images avant qu'elles ne soient soumises à des ANOVA à mesures répétées. Les régions cérébrales activées au-delà du seuil statistique de significativité furent identifiées par l'approche d'identification des groupements de voxels de l'outil Matlab Anatomical Automatic Labeling (Tzourio-Mazoyer et al., 2002). Afin d'augmenter la finesse de la présentation, certains résultats furent superposés à la surface corticale du cerveau canonique du MNI, par opposition à une présentation de type tomographique. Ceci fut effectué grâce à l'outil Matlab SurfRend (<http://spmsurfrend.sourceforge.net>) et par le programme FreeSurfer (CorTechs Labs, Inc., Charlestown, MA).

Chapitre 3 : Résultats

3.1 Caractérisation de l'échantillon

Le questionnaire des styles de gestion émotionnelle caractérise les participants comme suit : 1) Évitant : $\mu = 40.3$, $\sigma = 3.7$; 2) Émotionnel : 49.8 , $\sigma = 4.4$; 3) Détaché : $\mu = 38.2$, $\sigma = 7.2$; 4) Rationnel : $\mu = 35$, $\sigma = 5.9$. IMF: $m = 35.1$, $\sigma = 9.1$. EMT en zazen, sous-échelle curiosité : $\mu = 14.2$, $\sigma = 6$, sous-échelle décentrement : $\mu = 19.6$, $\sigma = 5.5$. Ces données ne sont pas traitées dans les analyses subséquentes de ce mémoire.

3.2 Résultats comportementaux

3.2.1 Échelle Mindfulness de Toronto

Des tests T pairés ont été effectués. La sous-échelle curiosité du EMT (EMTc) en condition attention ($\mu = 14.3$, $\sigma = 8.12$) et condition contrôle ($\mu = 13.9$, $\sigma = 6.07$) ne diffèrent pas significativement ($p > 0.05$). La sous-échelle décentrage (EMTd) en condition attention ($\mu = 18.7$, $\sigma = 3.7$) et en condition contrôle ($\mu = 15.4$, $\sigma = 4.3$) diffèrent significativement ($T = 3.3$, tsu , $p < 0.006$, $df = 8$). En sus, une analyse des treize questions du EMT prises séparément montrent que seules les questions numéro 1 ($T = 2.3$, tsu , $p < 0.03$, $df = 8$), numéro 4 ($T = 3.5$, tsu , $p < 0.005$, $df = 8$) et numéro 9 ($T = 3.2$, tsu , $p < 0.01$, $df = 8$) de la sous-échelle décentrage diffèrent significativement selon l'instruction de mindfulness.

3.2.2 Cote de Mindfulness

Un test T pairé sur la cote de mindfulness en condition attention ($\mu = 7.3$, $\sigma = 1.3$) et condition contrôle ($\mu = 5.2$, $\sigma = 2$) démontre une différence significative ($T = 5.3$, tsu , $p < 0.001$).

3.2.3 Cote d'intensité émotionnelle

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée sur la cote d'intensité émotionnelle et montre un effet principal de l'émotion ($F(1,8) = 6.5$, $p < 0.05$). Il y a aussi un effet principal de

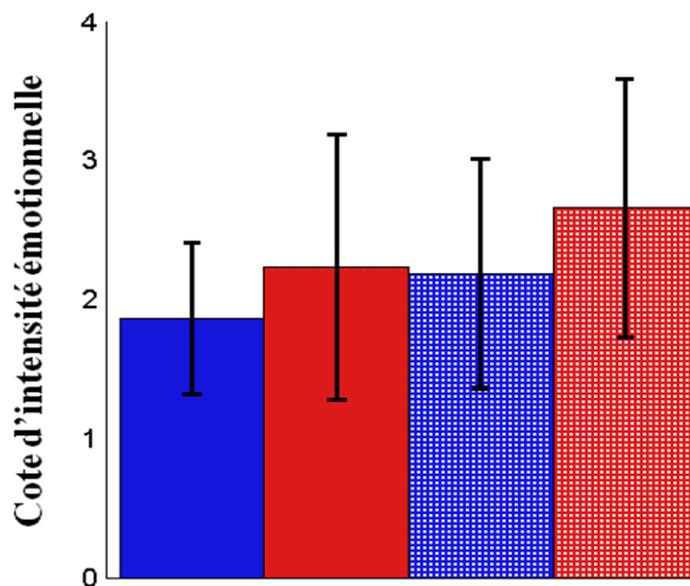
l'attention ($F(1,8) = 9.7, p < 0.02$). Il n'y a pas d'interaction entre les émotions et le mindfulness pour la cote d'intensité émotionnelle. Voir la figure 5.

3.2.4 Relation entre les données comportementales

Une régression multiple sur la cote d'intensité émotionnelle, incluant comme variable de nuisance la valence des stimuli (négative ou neutre) démontre une corrélation inverse avec la cote de mindfulness ($T = -3.9, df = 33$). Une régression multiple sur la cote de mindfulness ne démontre pas de covariation avec le EMTc ($p > 0.05$). Toutefois, une régression multiple démontre une corrélation entre le EMTd et la cote de mindfulness ($T = 2.15, df = 8$). Une régression multiple incluant valence des stimuli (covariables de nuisance) et EMTc (covariable d'intérêt) ne démontre pas de corrélation positive avec la cote d'intensité émotionnelle ($p > 0.05$). Une régression multiple incluant les variables sujets et valence des stimuli (covariables de nuisance) ainsi que le EMTd (covariable d'intérêt) ne démontre pas de corrélation avec la cote d'intensité émotionnelle ($p > 0.05$).

Figure 5 : Cotes de l'intensité des émotions ressenties à la vue des images

Bleu = stimuli neutres. Rouge = stimuli négatifs. Plein = condition mindfulness. Pointé = condition normale.



3.3 Résultats de neuroimagerie

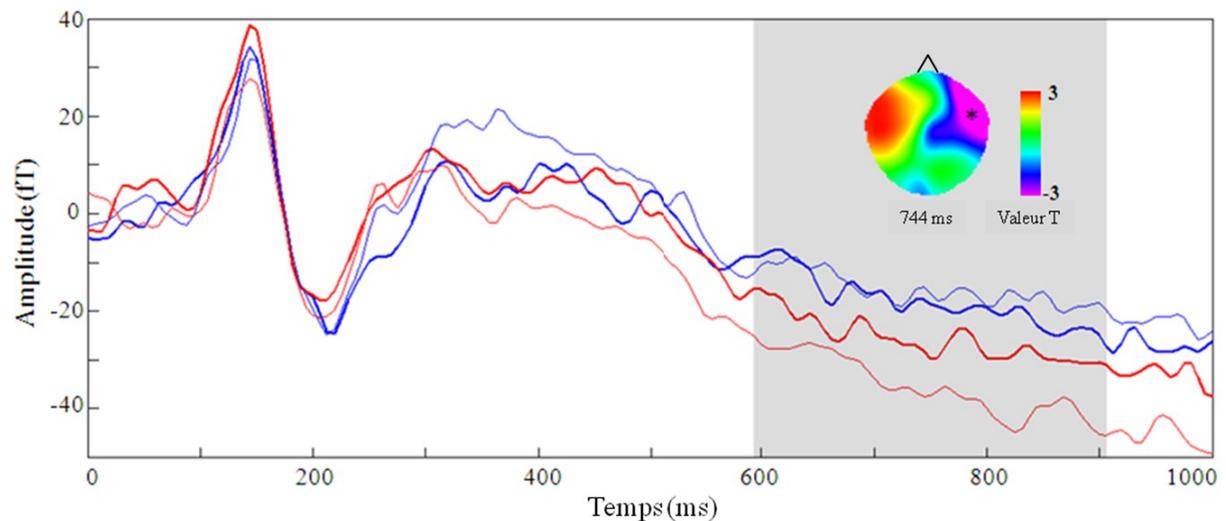
3.3.1 Champs magnétiques évoqués

3.3.1.1 Analyse topographique des champs magnétiques évoqués

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée et démontre un effet de l'émotion de 594 à 906 ms dans la région fronto-temporal droite ($T_{max} = 5.5$, p corrigé de groupement < 0.02 , $k_e = 10406$). Cette dernière activation fut investiguée à un seuil de significativité plus libéral ($p < 0.05$ non-corrigé) et démontre alors une interaction pour la période de 681 à 906 ms ($T_{max} = 2.55$, $k_e = 2233$). Voir la figure 6.

Figure 6 : Tracés neuromagnétiques

Réponse neuromagnétique évoquée moyenne des voxels significatifs pour le contraste images négatives > images neutres de la région fronto-temporale droite à 744 ms. Ces voxels sont mauves et sous l'astérisque dans la carte topographique (nez vers le haut). Bleu = images neutres, Rouge = images négatives. Gras = condition mindfulness, non-gras = condition normale. La partie ombrée en gris est celle où l'effet principal de l'émotion fut trouvé (594 à 906 ms).



3.3.1.2 Analyse de localisation des sources neuronales des champs magnétiques évoqués

Une ANOVA à mesures répétées, avec les facteurs émotion et attention fut effectuée sur l'activité corticale évoquée dans la fenêtre temporelle obtenue en 3.3.1.1, i.e. de 594 à 906 ms. Nous y relevons un effet de l'émotion pour trois groupements très étendus identifiés ainsi : cortex orbitofrontal supérieur, médian et inférieur gauche ($[-32, 44, -14]$, $T_{max} = 5.7$), frontal médian droit / frontal inférieur triangularis droit ($[44, 50, 2]$, $T_{max} = 4.5$), occipital supérieur et médian gauche ($[-32, -78, 10]$, $T_{max} = 4.5$) Voir la figure 7, tableau I. Un test d'interaction pour ces trois groupements n'a pas rejeté l'hypothèse nulle.

Figure 7 : Localisation des sources neuronales de la réponse évoquée par les émotions

Régions actives de 594 à 906 ms après la vue d'images émotionnelles. Contraste : images négatives > images neutres. L = vue latérale; M = vue médiane; V = vue ventrale; G = Hémisphère gauche; D = hémisphère droit; A = pôle antérieur.

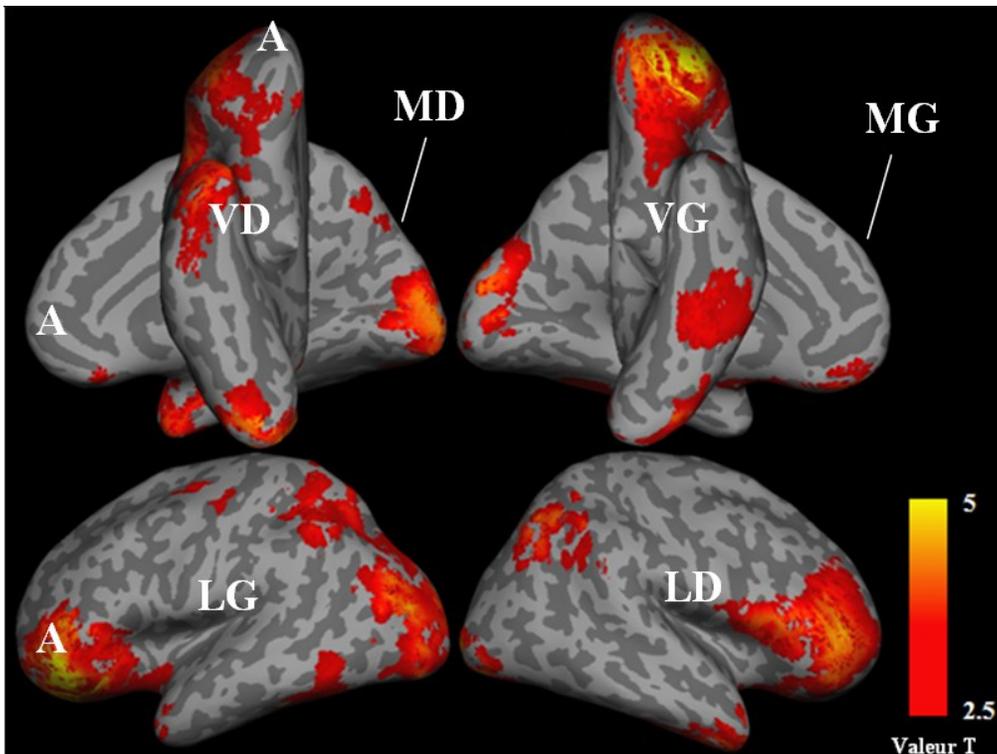


Tableau I : Localisation des sources neuronales de la réponse évoquée par les émotions

Régions actives de 594 à 906 ms après la vue d'images émotionnelles.

Contraste : Images négatives > images neutres.

Régions cérébrales	Coordonnées stéréotaxiques (MNI)			Valeur T	Volume (mm ³)
	x	y	z		
Orbitofrontal Sup/Med/Inf G; Frontal Inf Tri G.	-32	44	-14	5.7	23888
Frontal Med D; Frontal Inf Tri D.	44	50	2	4.5	33888
Occipital Med G; Occipital Sup G.	-32	-78	10	4.5	53072

Une régression multiple sur l'activité corticale évoquée ayant comme seule variable explicative les valeurs moyennes du champ magnétique du groupement en 3.3.1.1 pour la période de 594 à 906 ms fut effectuée. La puissance statistique et l'étendue des régions activées nous instiguèrent à utiliser le seuil très stricte de p corrigé < 0.05 . Les régions activées sont multiples : elles incluent tous les lobes cérébraux sauf l'occipital. Le système limbique est aussi activé au niveau des deux amygdales et du gyrus parahippocampal. Voir la figure 8, tableau II.

3.3.1.3 Corrélations entre les données comportementales et les champs magnétiques évoqués

Une régression multiple sur la cote d'intensité émotionnelle ayant comme seule variable explicative les valeurs moyennes du champ magnétique du groupement en 3.3.1.1 montre une corrélation du PPTm avec la cote ($T = -2.5$, $p < 0.02$, $df = 26$). Cette covariation négative indique que plus le courant magnétique entrant (de signe négatif) se rapproche de zéro, moins l'intensité des émotions ressenties est forte.

Figure 8 : Localisation des sources neuronales de le PPTm

Régions cérébrales qui covarient avec la réponse neuromagnétique évoquée PPTm, de 596 à 906 ms. L = vue latérale; M = vue médiane; V = vue ventrale; G = Hémisphère gauche; D = hémisphère droit; A = pôle antérieur.

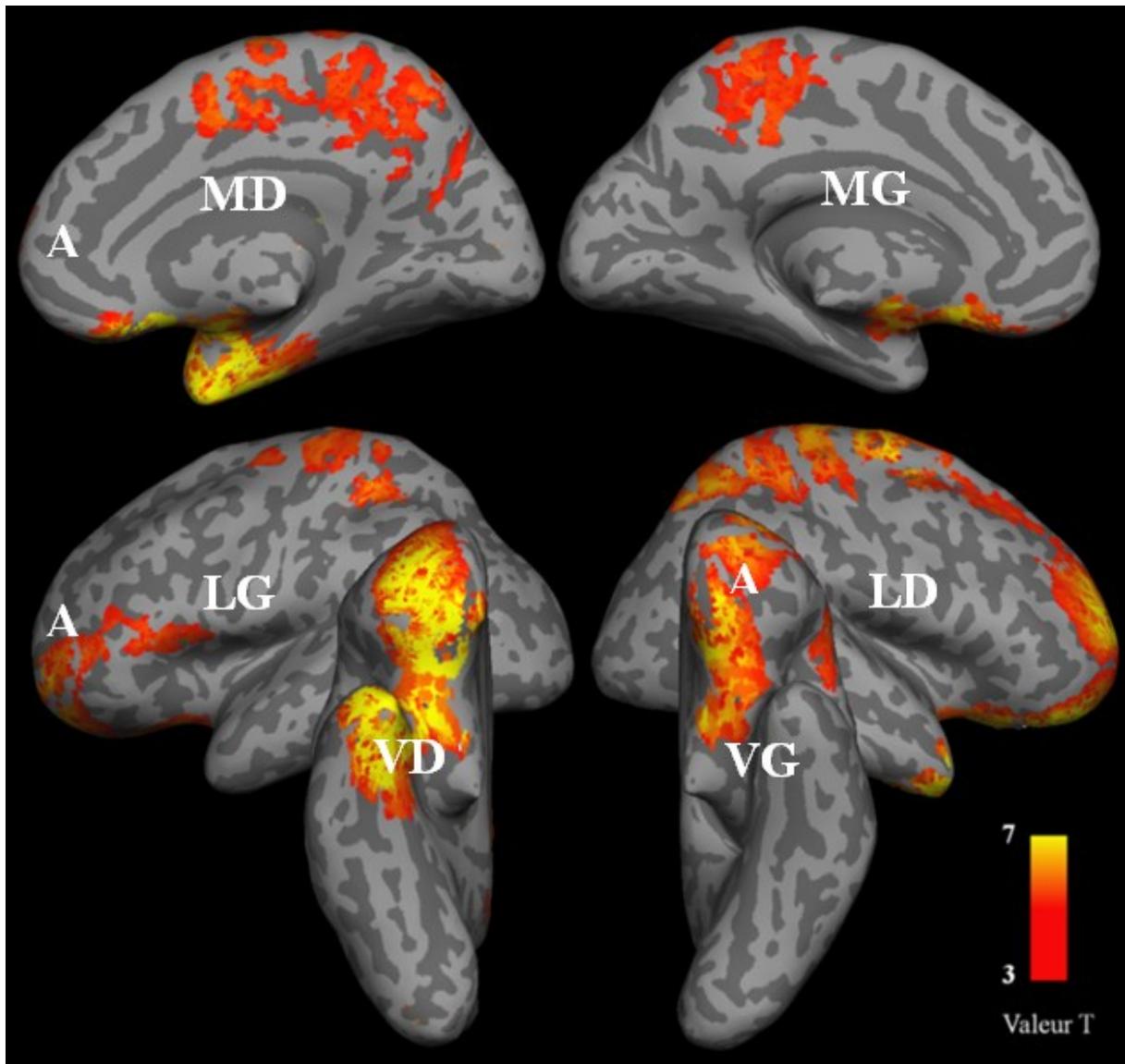


Tableau II : Localisation des sources neuronales du PPTm

Régions cérébrales	Coordonnées stéréotaxiques (MNI)			Valeur T	Volume (mm ³)
	x	y	z		
Orbitofrontal Sup/Med/Inf D; Fusifforme D; Pôle temporal Med D; Parahippocampal D; Rectus D; Amygdale D; Olfactif D	14	16	-24	10.07	33000
Orbirofrontal Sup/Med G; Frontal Inf Tri G; Rectus G; Olfactory G Amygdale G	-8	14	-18	8.61	12568
Postcentral D; Pariétal Sup D Précuneus D; Précentral D Frontal Sup D; Aire Supp Motrice D Paracentral Gobule D; Pariétal Inf D	22	-12	52	7.09	38320
Postcentral G; Précuneus G; Précentral G	-24	-42	46	6.22	13616

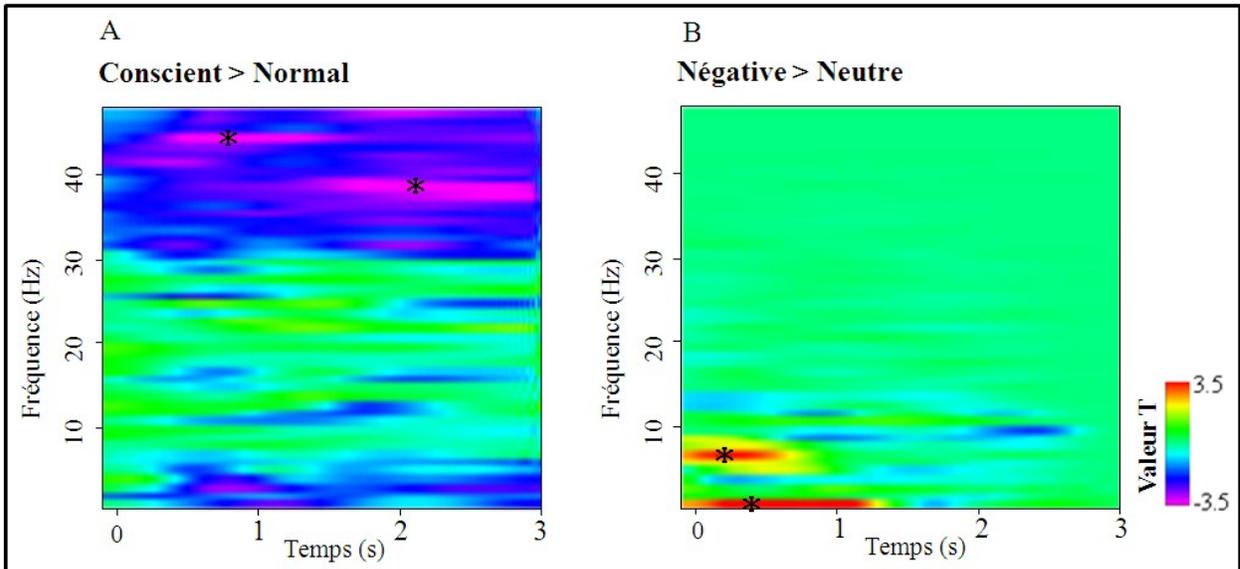
3.3.2 Oscillations induites

3.3.2.1 Oscillations induites globales

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée sur la globalité des senseurs et démontre un effet principal de l'attention sur deux groupements. Le premier se trouve dans la bande de fréquence de 44 à 45 Hz et pour la plage temporelle de 350 à 1719 ms ([45 Hz, 800 ms], $T_{max} = 4$, p corrigé de groupement < 0.005 , $k_e = 307$). Le deuxième se trouve dans la bande de fréquence de 37 à 41 Hz de 1150 à 2950 ms ([39 Hz, 2119 ms], $T_{max} = 3.9$, p corrigé de groupement < 0.001 , $k_e = 786$). Voir la figure 9A.

Figure 9 : ANOVA sur l'oscillation globale

Activité globale des senseurs induite (A) et évoquée (B) par les stimuli. Les astérisques marquent les groupements temps-fréquence statistiquement significatifs ($p < 0.005$).



3.3.2.2 Oscillations induites topographiques

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée sur les topographies 3D (temps-pixels) pour les fréquences des deux groupements en 3.3.2.1.

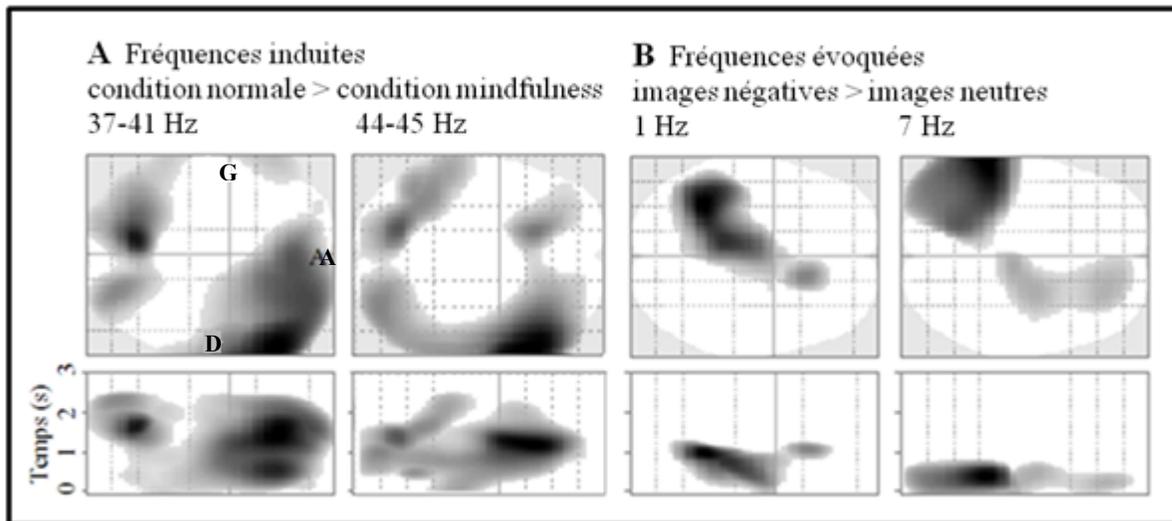
La première topographie 3D analysée, couvrant les fréquences de 44 à 45 Hz, montre un effet principal de l'attention (condition mindfulness < condition normale) dans deux groupements. Le premier s'étend de -100 à 2488 ms au niveau temporel droit, occipital bilatéralement et fronto-central bilatéralement ([62, 24, 1119 ms], $T_{max} = 4.6$, p corrigé de groupement < 0.001, $ke = 232915$). Le deuxième s'étend de 175 à 2319 ms et se situe au niveau temporo-pariétal gauche ([-40, -60, 375], $T_{max} = 3.4$, $ke = 9108$). Voir la figure 10A.

La deuxième topographie 3D analysée, couvrant les fréquences de 37 à 41 Hz, montre un effet principal de l'attention (condition mindfulness < condition normale) pour la bande de fréquence de 37 à 41 Hz dans deux groupements. Le premier groupement s'étend de -100 à

2556 ms et se situe au niveau temporo-frontal ([62, 32, 1456 ms], $T_{max} = 5.1$, p corrigé de groupement < 0.001 , $ke = 285224$). Le deuxième groupement s'étend de -100 à 2600 ms et se situe au niveau occipital ([-11, -65, 1688 ms], $T_{max} = 4.9$, p corrigé de groupement < 0.003 , $ke = 114836$). Voir la figure 10B.

Figure 10 : ANOVA sur les topographies 3D des oscillations magnétiques

La présentation est transparente, c'est-à-dire qu'il y a superposition des données de la dimension absente, « glass brain ». G = hémisphère gauche; D = hémisphère droit; A = pôle antérieur.



3.3.2.3 Localisation des sources neuronales des oscillations induites

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée sur les deux plages temps-fréquence sorties significatives en 3.3.2.1. La première plage temporo-fréquentielle étudiée, couvrant les fréquences de 37 à 41 Hz et s'étendant de 1150 à 2950 ms, est reliée à une activité corticale significative. Il s'agit d'un groupement couvrant les régions corticales suivantes : operculum frontal inférieur D, pôle temporal supérieur D, calcarine G, gyrus heschl D, calcarine D, précentral D, fusiforme D, cuneus D, occipital supérieur/médian D. Voir la figure 11A et le tableau III. La deuxième plage temporo-fréquentielle étudiée, couvrant les fréquences 44 à 45

Hz et s'étendant de 350 à 1718 ms, est aussi reliée à une activité corticale significative. Il s'agit de 3 groupements. Le premier couvre les régions suivantes : temporal supérieur/médian D, operculum rolandique D, gyrus de heschl D. Le deuxième couvre les régions suivantes : occipital supérieur/médian/inferieur D, lingual D, fusiforme D, temporal inférieur D, pôle temporal médian D, parahippocampal D, amygdale D. Le troisième couvre les régions suivantes : frontal inférieur triangulaire G, orbitofrontal inférieur G. Voir la figure 11B et le tableau III.

Figure 11 : Localisation des sources neuronales des oscillations induites.

Activité des sources corticales pour la bande de fréquences 37 à 41 Hz, de 1150 à 2950 ms (A) et 44 à 45 Hz, de 350 à 1719 ms (B). Contraste : condition mindfulness < condition normale. L = vue latérale; M = vue médiane; V = vue ventrale; G = Hémisphère gauche; D = hémisphère droit; A = pôle antérieur.

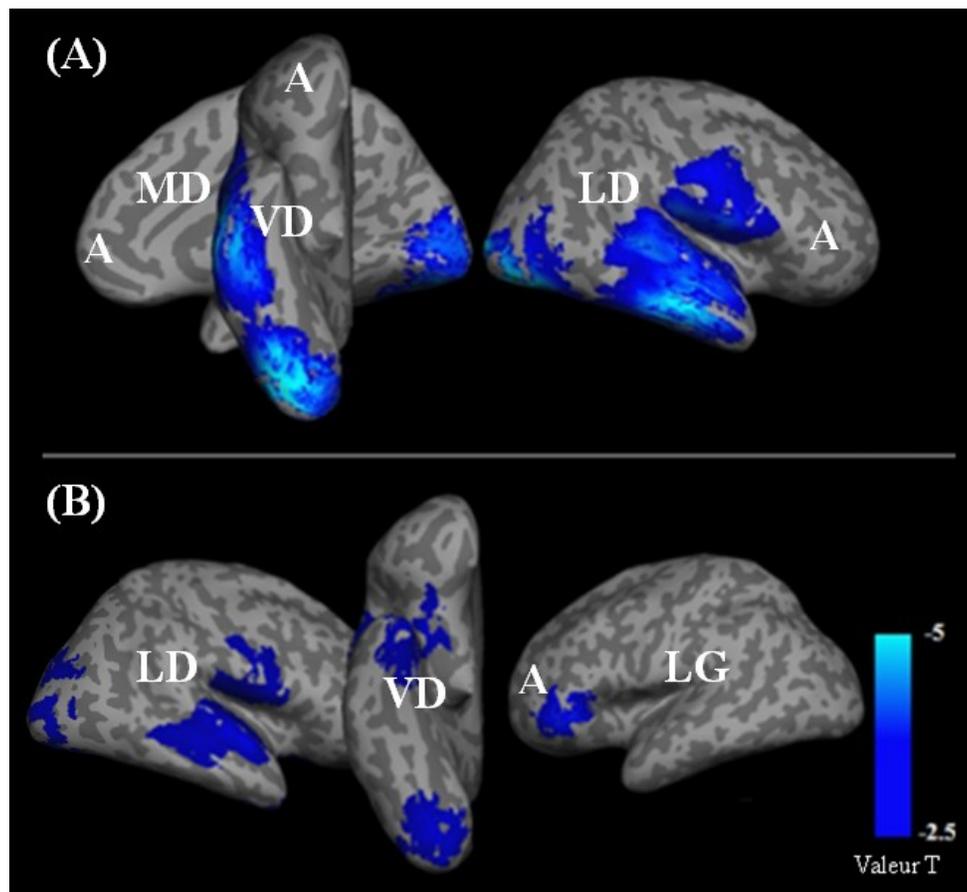


Tableau III : Localisation des sources neuronales des oscillations induites.

Contraste : condition mindfulness < condition normale

Fréquence induite	Plage temporelle	Régions cérébrales	Coordonnées stéréotaxiques (MNI)			Valeur T	Volume (mm ³)
			<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>		
37 à 41 Hz	1150 à 2950 ms	Frontal Inf Operculum D; Temporal; Pôle Sup D; Calcarine G; Heschl D Calcarine D; Précentral D; Fusiforme D; Cunéus D Occipital Sup/Med D;	34	-92	-10	5.3	77616
44 à 45 Hz	350 à 1718 ms	Temporal Sup/Med D; Operculum Rolandique D; Gyrus de Heschl D	58	-4	-4	4.3	16432
		Occipital Sup/Mid/Inf D; Lingual D	34	-88	12	3.9	13456
		Fusiforme D; Temporal Inf D; Pôle temporal Med D; Parahippocampal D; Amygdale D	26	-2	-42	3.7	6072
		Frontal Inf Tri G; Orbitofrontal Inf G	-50	38	-4	3.6	4744

3.3.2.4 Corrélations entre les données comportementales et les oscillations induites

Les images de décomposition fréquentielle de 44 et 45 Hz obtenues en 3.3.2.2, pour la condition contrôle (images neutres et négatives incluses) furent moyennées et soumises à une régression multiple incluant l'âge des participants comme variable de nuisance, et le nombre d'heures de méditation assise, comme variable d'intérêt. Cette analyse montre une corrélation positive entre l'oscillation induite et le nombre d'heures de méditation assise. Il s'agit de deux groupements, l'un au niveau temporo-occipital droit ([40, -76, 519 ms], Tmax = 5.9, p corrigé de groupement < 0.001, ke = 519) et l'autre au niveau frontal et temporal gauche ([-47, -36, 1219], Tmax = 5.6, p corrigé < 0.001, ke = 345054, voir la figure 12). Une analyse de régression similaire fut effectuée pour les conditions mindfulness sans résultats significatifs. À titre indicatif, voir le graphique de la figure 13 qui montre les droites de régression. Une

analyse similaire fut effectuée pour la condition mindfulness soustraite de la condition normale, cette fois-ci indiquant une activation à deux groupements. Le premier en temporo-pariétal droit ([30, -76, 813], Tmax = 7.3, p corrigé de groupement < 0.001, ke = 158084). Le deuxième s'étend de la région frontal à temporal à pariétal gauche (-43, 48, 525), Tmax = 6.7 p corrigé de groupement < 0.001 ke = 143153, figure 12). Des analyses similaires avec les mêmes contrastes furent effectuées pour la bande de fréquence 37-41 Hz, sans résultats significatifs.

Figure 12 : Covariation de l'activité gamma avec le nombre d'heures de MM

Activité fréquentielle induite de 44-45 Hz corrélant avec le nombre d'heures de pratique de MM, contrôlé par l'âge. A = pôle antérieur; D = hémisphère droit; G = hémisphère gauche.

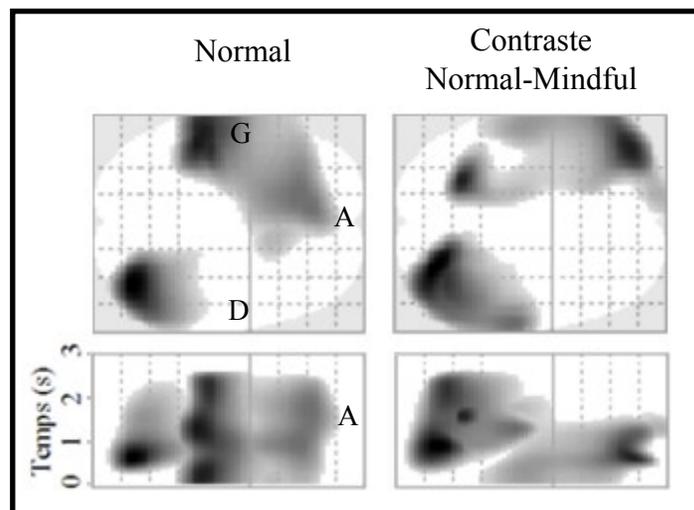
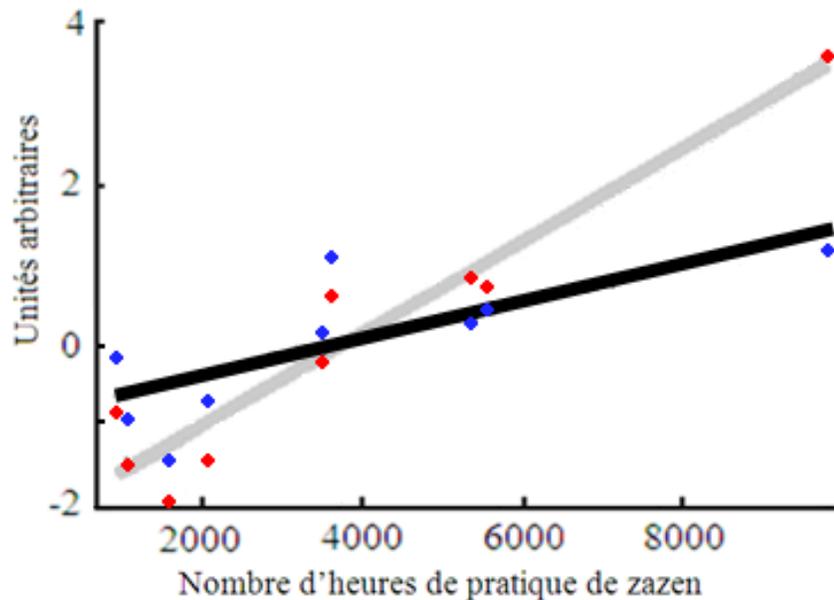


Figure 13 : Covariation de l'activité gamma du lobe temporal droit avec le nombre d'heures de MM

Covariation de l'activité fréquentielle de 44-45 Hz en condition normale (en rouge) et mindfulness (en bleu) au niveau temporo-occipital droit [40, -76, 519ms] avec le nombre d'heures de pratique de la méditation MM, contrôlée pour l'âge.



3.3.3 Oscillations évoquées

3.3.3.1 Oscillations évoquées globales

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée sur la globalité des senseurs et démontre un effet principal de l'émotion sur deux groupements. Le premier, d'une fréquence de 7 Hz pour la plage temporelle de -18.75 à 519 ms ([7 Hz, 213 ms], $T_{max} = 3.3$, p corrigé de groupement < 0.04 , $ke = 87$). Le deuxième, d'une fréquence de 1 Hz pour la plage temporelle de 50 à 1206 ms ([1 Hz, 394 ms], $T_{max} = 4$, p corrigé de groupement < 0.001 , $ke = 186$). Voir la figure 9B.

3.3.3.2 Oscillations évoquées topographiques

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée sur les topographies 3D pour les fréquences des deux groupements en 3.3.2.5. Le premier démontre un effet principal de l'émotion pour la fréquence de 7 Hz dans les groupements tempo-pariétale gauche ([-64, -41, 381 ms], $T_{max} = 4.8$, p corrigé de groupement < 0.005 , $k_e = 75714$) de -100 à 762,5 ms et fronto-central droit ([6, -22, 94 ms], $T_{max} = 3.3$, p corrigé de groupement < 0.06 , $k_e = 33753$) de -100 à 706 ms. Le deuxième démontre un effet principal de l'émotion pour la fréquence de 1 Hz dans un groupement qui couvre la région pariéto-centrale ([-34, -49, 963 ms], $T_{max} = 4.3$, p corrigé de groupement < 0.02 , $K_e = 80041$) de -100 à 1300 ms. Voir la figure 10B.

3.3.3.3 Localisation des sources neuronales des oscillations évoquées

Une ANOVA à mesures répétées fut effectuée sur les deux plages temps-fréquence sorties significatives en 3.3.2.5. La première, de fréquence 1 Hz pour la plage temporelle de 50 à 1206 ms, démontre une source ([-22, -88, 12], $T_{max} = 4.7$, p corrigé de groupement < 0.09 , $k_e = 5666$). Voir la figure 14A, tableau IV. La deuxième, de fréquence 7 Hz pour la plage temporelle de -19 à 519 ms, démontre une source significativement activée. Il s'agit d'un effet principal de l'émotion à un groupement dont les foyers sont identifiés comme étant occipital médian L, occipital inférieur L, lingual L, angulaire L ([-22, -86, -14], $T_{max} = 4.5$, p corrigé de groupement = 0.2, $k_e = 3167$) et temporal inférieur R, temporal médian R, occipital médian R, occipital inférieur R ([42, -82, 10], $T_{max} = 3.8$, p corrigé de groupement = 0.1, $k_e = 3338$). Voir la figure 14B et le tableau IV.

3.3.3.4 Corrélation entre le PPTm et les oscillations magnétiques

L'activité moyenne de l'onde magnétique PPTm de 594 à 906 ms en 3.3.1.1 fut utilisée comme covariable d'intérêt dans une régression multiple contre la fréquence induite globale. Aucun résultat significatif n'en sortit. Une analyse similaire contre la fréquence évoquée

globale révèle une onde delta de 1 Hz s'étendant de 250 à 1188 ms (Tmax = 4.6, p corrigé de groupement = 0.001, ke = 151).

Figure 14 : Localisation des sources neuronales des oscillations évoquées.

Activité corticale de fréquence 1 Hz pour la plage temporelle de 50 à 1206 ms (A) et de 7 à 8 Hz pour la plage temporelle de -19 à 519 ms (B). La présentation est transparente, c'est-à-dire qu'il y a superposition des données de la dimension absente, « glass brain ». A = pôle antérieur; G = hémisphère gauche; D= hémisphère droit; L = vue latérale; Do = vue dorsale.

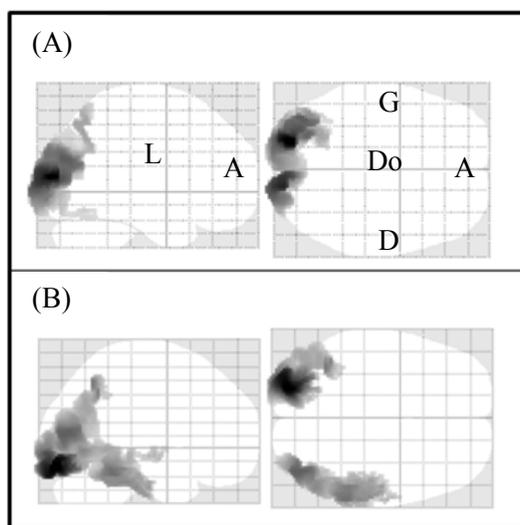


Tableau IV : Localisation des sources neuronales des oscillations évoquées.

Contraste : images négatives > images neutres.

Fréquence induite	Plage temporelle	Régions cérébrales	Coordonnées stéréotaxique (MNI)			Valeur T	Volume (mm ³)
			x	y	z		
1Hz	50 à 1206 ms	Occipital Sup/Med G	-22	-88	12	4.7	45328
7-8 Hz	-19 à 518 ms	Occipital Mid/Inf G	-22	-86	-14	4.5	25336
		Lingual G; Temporal Med G Angulaire G					
		Temporal Med/Inf D	42	-82	10	3.8	26704
		Occipital Mid/Inf D					

Chapitre 4 : Discussion

4.1 Le Potentiel positif tardif magnétique

Nous corroborons dans cette étude l'observation d'un lien entre l'intensité des émotions ressenties et une réponse cérébrale d'origine postérieure dans la deuxième demi-seconde suivant la présentation des stimuli visuels (Cuthbert et al., 2000; Schupp et al., 2000). La topographie électroencéphalographique du PPT est centro-pariétale (Shupp et al., 2004; Hajack et al., 2010) mais le pendant neuromagnétique (PPTm) de cette réponse semble être plus latéral. Cette correspondance temporelle couplée à une différence spatiale entre le PPTm et le PPT n'est pas surprenante. Bien que l'EEG et la MEG soient deux modalités d'imagerie cérébrale qui enregistrent les mêmes courants neuronaux, il existe entre elles une différence de sensibilité relative à l'orientation des sources par rapport aux senseurs (Cohen et Halgren, 2003). La différence sur le plan topographique n'implique donc pas une différence de substrat neuronal.

Nous observons une modeste interaction entre émotion et attention au niveau du PPTm, à un seuil statistique permissif de $p < 0.05$ non corrigé, que notre hypothèse initiale autorise. La différence entre l'activité magnétique au niveau des senseurs frontolatéraux dans la fenêtre temporelle de 681 à 906 ms selon la nature affective des stimuli est moins grande en état de mindfulness qu'en état d'attention normal. Ce résultat est plutôt cohérent avec les résultats obtenus dans des paradigmes semblables en électroencéphalographie (Sobolewski et al., 2011; Hajcak et al., 2006), relevés en introduction.

Plus indirectement, les résultats de Slagter et collègues suggérant une diminution de la P3b suite à la MM sont aussi cohérents avec la diminution du PPTm que nous observons. Pour la P3b comme pour le PPTm, on peut supposer une diminution de la capture attentionnelle par les stimuli, laquelle opère par ailleurs dans des fenêtres temporelles similaires. En effet, il est possible que le PPT reflète une capture attentionnelle par l'émotion (hypothèse d'inhibition globale, voir Brown et al., 2012), ce qui pourrait être son lien avec la P3b. Toutefois,

soulignons que nous avons observé une diminution de l'activité gamma dans le cortex visuel primaire et secondaire en état de mindfulness, et que cette activité ne présentait pas d'interaction émotion-attention. Dans l'hypothèse d'inhibition globale, on s'attendrait normalement à une augmentation du traitement visuel des stimuli avoisinant une diminution du PPT (Bocanegra & Zeelenberg, 2009). Nos méditants ont donc ceci de particulier qu'ils montrent une diminution de la capture attentionnelle par les stimuli émotionnels ainsi qu'une désactivation du traitement visuel de tous les stimuli.

La localisation des sources corticales sous-tendant le PPTm mesurée par les senseurs indique une plus grande activation du COF, du pôle temporal et du cortex préfrontal latéral, pariétal et occipital à la présentation d'images négatives plutôt que neutres (voir les figures 7 et 8), dans la fenêtre temporelle de 596 à 906 ms. Ces résultats recourent et prolongent ceux de l'étude de Moratti et collègues, qui fournissait la localisation de source la plus sophistiquée avant la nôtre. En particulier, la présente étude suggère pour la première fois que le COF et le pôle temporal sous-tendraient le PPTm. Notamment, ces deux dernières régions sont fréquemment activées dans les études sur les émotions utilisant l'IRMf (pour une méta-analyse, voir Kober et al., 2008). Kober et collègues relevèrent que le plus souvent, les émotions sont reliées à une activation de la division ventromédiale du COF. Nous observons une telle activation relative aux émotions mais elle s'étend aussi jusqu'à la division latérale du COF. Il est possible que la MEG soit plus sensible au COF latéral que l'IRMf à cause des artefacts de susceptibilités magnétiques dus aux cavités sinusales remplies d'air défavorisant l'IRMf (Delvin et al., 2000). Avec la MEG, Rudrauf et collègues furent en mesure de relever une activation du COF à la vue de films chargés émotionnellement, ce qui supportent dans une certaines mesures nos résultats à la fois sur le plan technique qu'expérimental.

Notons que les effets du mindfulness que nous observons dans nos analyses sont largement orthogonaux à la valence et l'intensité des images visionnées. En effet, les résultats ne nous indiquent qu'une faible interaction entre le mindfulness et les émotions. Cette interaction existe, et a été trouvée au niveau du pendant magnétique du Potentiel Positif tardif (PPTm).

Toutefois, probablement à cause de la petitesse de l'effet, la localisation de source corticale de cette interaction ne fut pas fructueuse.

4.2 Oscillations magnétiques évoquées

Une augmentation de l'activité oscillatrice évoquée delta (1 Hz) et theta (7 Hz) est observée principalement au niveau pariétal mais aussi frontal, tôt après la présentation des stimuli négatifs par rapport aux stimuli neutres, sans effet du mindfulness. Des résultats allant dans le même sens furent observées dans d'autres études (Aftanas et al., 2004, Aftanas et al., 2001). La localisation corticale du signal de ces deux oscillations évoquées indique des régions occipitales et occipito-temporales, respectivement.

4.3 Oscillations magnétiques induites

Ce qui est le plus probant dans nos résultats est la suppression de l'activité fréquentielle induite de la bande gamma en mindfulness. On peut également décrire ce résultat comme étant une augmentation de l'activité gamma à l'état normale qui n'est pas observée à l'état mindfulness. Cette augmentation est en corrélation positive avec le nombre d'heure de pratique de la méditation zen (voir la figure 13). L'analyse topographique et la localisation des sources corticales offrent des résultats statistiquement convaincants. Les senseurs temporaux droits et occipitaux bilatéraux ont mesuré cette suppression dont les sources corticales furent localisées précisément. En ce qui concerne la fréquence gamma de 37 à 41 Hz, il s'agit de larges régions couvrant le cortex visuel primaire et secondaire ainsi que le cortex préfrontal latéral inférieur droit. En ce qui concerne la fréquence gamma de 44 à 45 Hz, des régions occipitales et temporales similaires montrent une suppression gamma avec une activation du cortex latéral préfrontal inférieur gauche. Le lobe temporal droit est désactivé en mindfulness dans ces deux fréquences.

Il est improbable que l'activité gamma rapporté dans notre étude reflète des saccades oculaires pour 3 raisons. D'abord, lors du prétraitement, nous avons soustraits des données les

composantes oculaires grâce à l'analyse par composantes principales. Ensuite, si le mouvement des yeux étaient responsable du signal obtenu, la localisation de source indiquerait des foyers d'activité d'origine orbitofrontale. Dernièrement, le caractère soutenu de l'activité gamma que nous rapportons. En effet, l'activité de la bande de fréquence de 37 à 41 Hz s'échelonne de 1150 à 2950 ms et l'activité de la bande de fréquence de 44 à 45 Hz s'échelonne de 350 à 1718ms, ce qui ne correspond pas à ce qui est attendu des saccades oculaires (Yuval-Greenberg et al., 2008).

4.3.1 Oscillations gamma, conceptualisation et émotions

Il est probable que ces résultats soient attribuables à une diminution des processus visuels de haut niveau consistant en la conceptualisation des stimuli visuels. (Thierry & Price, 2006). Dans la littérature, l'activité gamma est plus forte à la vue d'images négatives par rapport à des images neutres (Martini et al., 2012). Les participants de notre étude ne démontrent pas une telle modulation de l'activité gamma par la valence des images : l'activité gamma est présente dans les images neutres et négatives. Ceci suggère une impartialité chez nos méditants en ce qui a trait au traitement conceptuel des images présentées. Une comparaison avec des non-méditants, indisponible dans notre étude, pourrait éventuellement tester directement si cette impartialité est issue de la pratique méditative.

4.3.2 Oscillations gamma et attention

Une interprétation alternative est que la présence élevée d'activité gamma observée en état normal (laquelle est en corrélation positive avec l'expertise des méditants) reflète une plus grande capacité naturelle d'attention visuelle. L'activité gamma serait en effet reliée à l'attention visuelle (Gruber et al., 1999). Cette interprétation alternative n'est pas forcément incompatible avec la précédente : il est possible qu'à l'état normale, les méditants étant très attentifs, ils conceptualisent aussi beaucoup (voir Treisman, 1999). S'il en est ainsi, il faut remarquer le corollaire : leur capacité à se soustraire à volonté de ces deux processus cognitifs (attention et conceptualisation). Cette hypothèse est par ailleurs soutenue par notre observation

que la différence d'activité gamma entre les deux conditions expérimentales augmente avec le niveau de pratique.

Néanmoins, si l'on interprète les résultats de cette façon, il apparaît curieux que le mindfulness diminue cette activité gamma reliée à l'attention. Cela pourrait être dû au fait que l'attention de nos méditants était dirigée non seulement aux stimuli visuels mais aussi, tel que notre instruction le leur demandait, à leurs pensées et sentiments. En état de mindfulness, l'attention est ouverte à tous les phénomènes accessibles à la conscience, ce qui limiterait les ressources cognitives disponibles pour l'attention visuelle.

4.3.3 Oscillations gamma et méditation

Une étude notable sur 16 praticiens de la méditation vipassana releva une activité gamma au niveau pariétal droit et occipital plus prononcée pendant qu'ils méditent comparativement à lorsqu'ils laissent leurs esprits divaguer (Cahn et al., 2010). Ce dernier résultat présente deux similitudes avec nos observations de l'activité gamma. Premièrement, la topographie de l'activité gamma observée par Cahn et collègues ressemble à celle relevée par notre étude. Deuxièmement, les méditants les plus expérimentés montre plus d'activité gamma différentielle selon l'état que les moins expérimentés (voir la figure 12). Néanmoins, une différence majeure doit être soulevée : alors que dans leur étude, une augmentation de l'activité gamma fut observée lorsque les praticiens étaient en état méditatif, nous observons plutôt une diminution. Cette profonde différence pourrait être due au contexte : dans leur étude, les participants n'étaient pas soumis à une stimulation sensorielle visuelle et leurs analyses ne furent pas effectuées sur l'oscillation induite par des stimuli.

Une autre étude en électroencéphalographie contraste avec nos résultats d'oscillation gamma. Dans cette étude, les auteurs mesurèrent l'activité électrique oscillatoire de 8 méditants tibétains en état d'amour-bienveillance (Lutz et al., 2004). Comparativement à un groupe contrôle de 10 participants ayant peu d'expérience méditative, les méditants tibétains présentèrent une augmentation de l'activité gamma (25-42 Hz) dans des régions médio-

frontale et temporale. Il faut remarquer que bien que la pratique méditative ayant pour objet l'amour-bienveillance fasse partie de la tradition bouddhique, elle est spécifiquement de type « concentration » et non « mindfulness ». De surcroît, leurs participants n'étaient pas dans un contexte de stimulation sensorielle. Des études futures pourraient contraster directement l'activité gamma chez les méditants selon qu'ils soient soumis ou non à un train de stimulation.

Une étude plus ancienne suggère une absence de réponse gamma à des films de valence négative chez des méditants (Aftanas et Golosheykin, 2005). Alors que pendant le visionnement de films négatifs, les non-méditants présentèrent une augmentation de l'activité gamma dans les régions topographique fronto-polaire, frontale et antéro-temporale, ce ne fut pas le cas des méditants. Ces résultats pourraient se rapprocher des nôtres parce que nos méditants ne montrent pas d'activité gamma induite spécifiquement par le visionnement d'images négatives. Aucun effet de la nature émotionnelle des images n'est présent : nous n'observons qu'un effet du mindfulness. Il serait intéressant dans une étude contrôlée d'éventuellement tenter de généraliser les résultats d'Aftanas et Golosheykin à des méditants Zen dans un contexte de présentation d'image de l'IAPS. La présente étude n'ayant pas de groupe contrôle, on ne peut pas tenter cela.

4.4 Recoupement entre le mindfulness et l'alexithymie

L'alexithymie est une incapacité à identifier et rapporter les émotions ressenties. Nous savons que les images chargées émotionnellement élicite de l'activité gamma chez les individus normaux (Keil, 2001), ce qui n'est pas le cas chez les alexithymiques (Matsumoto et al., 2006). Dans notre étude, aucun effet de la valence affective des stimuli n'est observé en termes d'activité gamma. Cette absence de réactivité gamma aux stimuli serait similaire aux alexithymiques. Les alexithymiques ressentent les émotions provoquées par les images négatives mais ne sont pas en mesure de les identifier ou les interpréter préférentiellement à des images neutres. Similairement, les méditants ne montrent pas d'interprétation

préférentielle pour les images négatives. Toutefois, pour ces derniers, c'est probablement parce que l'intensité de la réaction émotionnelle est moindre à l'origine, c'est-à-dire avant même l'implication des fonctions supérieures relatives à l'interprétation.

Notons par ailleurs que l'augmentation de l'activité évoquée theta de nos méditants lors de la présentation d'images négatives, sans égard à l'état attentionnel, fait contraste avec les alexithymiques qui ne présente pas ce type d'activité, contrairement à des sujets sains (Aftanas et al., 2003). Des auteurs spéculèrent sur la base de la topographie de cette activité que cette activité theta indexe l'activité du cortex antérieur cingulaire connue pour son rôle dans les processus attentionnels. Si ce lien est véritable, ce qui n'est toutefois pas confirmé avec notre localisation de source, cela suggérerait la différence suivante entre les méditants et les alexithymiques : les deux n'interprètent pas les stimuli émotionnellement, mais seuls les premiers y portent attention.

4.5 Les émotions et le centre cérébral de la parole

La désactivation du cortex préfrontal latéral inférieur gauche (CPLIG), que nous observons dans la bande de fréquence de 37 à 41 Hz, est un résultat inhabituel dans les études sur les substrats neuronaux des SRE. C'est plutôt l'inverse qui est généralement observé (Beauregard et al. 2001; Phan et al., 2005; Ochsner et al., 2002; Ochsner et al., 2004). Toutefois, une étude suggère par une analyse de conjonction que cette région peut être activée quand on demande aux participants d'augmenter leurs émotions et de les diminuer (Eippert et al., 2006). Il est donc probable que cette région, particulièrement reliée au langage, même sans manifestation vocale, puisse être une arme à deux tranchants sur le plan émotionnel parce qu'elle peut entraîner une régulation à la hausse comme à la baisse.

La suppression de l'activité gamma dans le CPLIG suggère que le centre de la parole est inhibé chez nos méditants en état de mindfulness. Cette région est connue depuis longtemps

comme soutenant les processus verbaux intérieurs et extérieurs avec un rôle également dans la processus de réflexion du moi (pour une revue, voir Morin et Michaud, 2007). Une étude sur la MM et la perception de mots tendant à évoquer une évaluation personnelle, par exemple des adjectifs comme « confiant » ou « mélancolique », montre que l'entraînement à la méditation est relié à une désactivation de zone médiane du cortex frontal connues pour être impliqué dans la réflexion référencée au moi (Farb et al., 2007). Le CPLIG fut aussi désactivé, comme dans notre étude. Les auteurs notèrent que leurs résultats sont consistants avec une diminution des processus du moi sous-tendu par le langage.

4.6 L'hypothèse de Austin

James H. Austin, neurologue et pratiquant de la méditation Zen, a fournit dans des livres très détaillés des hypothèses sur les bases neuronales du Zen. Une citation démontrera en quoi l'une de ses hypothèses principales semble être supportée par notre étude :

« Ces pratiques d'attention de type bas-en-haut [les MM] se réfèrent plus aux réseaux corticaux du côté droit dans les régions basses du cerveau. L'habituelle cultivation des pratiques d'attention de bas-en-haut pourrait graduellement vous rendre capable d'accéder plus promptement aux multiples fonctions d'interprétation près des routes temporo-frontales. (Austin, 2011) »

Nous considérons que l'activité gamma du lobe temporal droit à l'état normal chez nos méditants est compatible avec avec son hypothèse.

4.7 Absence d'activité dans les régions corticales médianes

Dans notre étude, aucune désactivation des zones médianes du cortex frontal fut trouvée, contrairement à notre étude antérieure et similaire utilisant une autre technique d'imagerie cérébrale, l'IRMf (Taylor et al., 2011). Nous spéculons que cette absence de réplification est due à la difficulté de la MEG à imager ces régions plus profondes du cerveau. Le fait que les régions médianes du cortex frontal, tel que le cortex antérieur cingulaire, se font face anatomiquement peut théoriquement occasionner une annulation du signal au niveau des senseurs. En effet, dans le cas où ces régions sont activées bilatéralement, l'une occasionnera un champ magnétique entrant et l'autre sortant, suivant la règle de la main droite. Ceci peut expliquer que nous ne répliquions pas les résultats d'activation (cortex antérieur cingulaire) ou désactivation (cortex préfrontal médian) de ces régions en mindfulness (Taylor et al., 2011). Dans les études futures, il serait intéressant de prendre des mesures électroencéphalographiques en même temps que magnétoencéphalographiques pour des résultats probablement encore plus complets.

4.8 Note sur le procédé d'analyse

Le procédé d'analyse utilisé dans la présente étude, largement tributaire des données elles-mêmes, et indépendant d'hypothèse (excepté pour le PPTm), s'est avéré très fructueux. L'approche typique du logiciel SPM est d'analyser les données voxel par voxel tout en corrigeant les seuils statistiques pour les comparaisons multiples. Nous avons utilisé cette force du logiciel SPM pour déterminer les fenêtres fréquentielles à étudier. Nous encourageons les chercheurs futurs à utiliser notre procédé d'analyse, illustré à la figure 4.

Limitations

L'hétérogénéité des stimuli utilisés (faces, objets, scènes) et les variations de nature des émotions suscitées (colère, tristesse, dégoût) est à la fois un avantage et un inconvénient. L'avantage est de permettre une certaine généralisation des résultats à la vie de tous les jours. L'inconvénient se trouve surtout dans les analyses statistiques, pour lesquelles on cherche un haut rapport signal sur bruit. Pour l'avoir, la variation des données induite par la manipulation expérimentale doit être la plus systématique possible. Dans le cas présent, les variations intrinsèques à la nature des émotions risquent d'introduire une variabilité qui n'est pas bienvenue. En pratique, le fait que l'IAPS soit limitée dans le nombre de stimuli de même nature émotionnelle qu'elle contient fait en sorte que la majorité des études incluent les différentes émotions sous le même « parapluie » de valence, sans distinction précise. Si néanmoins l'on souhaite n'étudier qu'une émotion particulière (e.g. colère) et que l'on veut aussi présenter des scènes toutes différentes les unes des autres afin d'éviter l'habituation, on devra valider de nouveaux stimuli à la manière de l'IAPS (sur une large population). Cela dit, puisque selon la littérature, la répétition des stimuli ne semble pas engendrer un amenuisement du PPT, dans le cas où on se concentre sur cette réponse cérébrale seulement il est envisageable de choisir une émotion (e.g. le dégoût) et de répéter les images y correspondant.

Bibliographie

Aftanas L., Golosheykin S., Impact of regular meditation practice on EEG activity at rest and during evoked negative emotions, *Int. J. Neurosci.*, 2005,115(6):893-909.

Aftanas L., Reva N., Varlamov A., Pavlov S., Makhnev V., Analysis of Evoked EEG Synchronization and Desynchronization in Conditions of Emotional Activation in Humans: Temporal and Topographic Characteristics, *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 2004,34(8):859-67

Aftanas L., Varlamov A., Pavlov S., Makhnev V., Reva N., Affective picture processing: event-related synchronization within individually defined human theta band is modulated by valence dimension, *Neurosci. Lett.*, 2001,303(2):115-8.

Aftanas L., Varlamov A., Reva N., Pavlov S., Disruption of early event-related theta synchronization of human EEG in alexithymics viewing affective pictures, *Neurosci Lett.*, 2003,340(1):57-60.

Austin, J. *Meditating Selflessly: Practical Neural Zen*, 2011, MIT Press.

Baetens K., Van der Cruyssen L., Achtziger A., Vandekerckhove M., Van Overwalle F., N400 and PPTm in spontaneous trait inferences, *Brain Res.*, 2011,(1418)83-92.

Beauregard M., Lévesque J., Bourgouin P., Neural correlates of conscious self-regulation of emotion, *J. Neurosci.*, 2001,21(18):RC165.

Besl P., McKay N., A Method for Registration of 3-D Shapes, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992,15:239–56.

Bielefeldt C., Weinstein S., *Treasury of the Eye of the True Dharma (Book11)*, Soto Zen text project, <http://scbs.stanford.edu/sztp3/translations/shobogenzo/index.html>, accédé en Octobre 2012.

Bielefeldt C., *Dogen's Manuals of Zen Meditation*. Berkeley: University of California Press, 1988.

Bishop S., Lau M., Shapiro S., Carlson L., Anderson ND., *Mindfulness: A Proposed Operational Definition*, *Clinical Psychology: Science and Practice*, 2004,11(3):230-241.

Bodhi, B., *A comprehensive manual of Abhidhamma*. Seattle, WA: BPS Pariyatti Editions, 2000.

Bocanegra B., Zeelenberg R., Dissociating emotion-induced blindness and hypervision, *Emotion*, 2009,9:865–73.

Braboszcz C., Hahusseau, S., Delorme A., Meditation and neuroscience: from basic research to clinical practice, Dans: Carlstedt, R.A. (Ed.), Handbook of Integrative Clinical Psychology, Psychiatry, and Behavioral Medicine: Perspectives, Practices, and Research. Springer Publishing Co Inc., 2010.

Bradley M., Hamby S., Low A., Lang P., Brain potentials in perception: Picture complexity and emotional arousal, *Psychophysiology*, 2007,44:364–73.

Brown K., Goodman R., Inzlicht M., Dispositional mindfulness and the attenuation of neural responses to emotional stimuli, *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, 2012, Feb[Epub ahead of print]

Buchheld N., Grossman P., Walach H., Measuring mindfulness in insight meditation (Vipassana) and meditation-based psychotherapy: The development of the Freiburg Mindfulness Inventory (FMI), *Journal for Meditation and Meditation Research*, 2002,(1):11–34.

Brown S., Steenbergen H., Band G., Rover M., Nieuwenhuis S., Functional significance of the emotion-related late positive potential, *Frontiers in human neuroscience*, 2012,6(33):1-12.

Cahn R., Delorme A., Polich J., Occipital gamma activation during Vipassana meditation, *Cogn Process*, 2010,11:39–56.

Chambers R., Gullone E., Allen N., Mindfulness emotion regulation: An integrative review, *Clin. Psychol. Rev.*, 2009,29(6):560-72.

Cohen D., Halgren E., Magnetoencephalography (Neuromagnetism), *Encyclopedia of Neuroscience*, 3rd Edition, 2003,1-7.

Chiesa A., Serretti A., A systematic review of neurobiological and clinical features of mindfulness meditations, *Psychol. Med.*, 2010,40(8):1239-52.

Chiesa A., Serretti A., Mindfulness-based stress reduction for stress management in healthy people: a review and meta-analysis, *J. Altern. Complement. Med.*, 2009,15(5):593-600.

Cuthbert B., Schupp H., Bradley M., Birbaumer N., Lang P., Brain potentials in affective picture processing: covariation with autonomic arousal and affective report, *Biol. Psychol.*, 2000,52(2):95-111.

Davidson R., Affective style, psychopathology, and resilience: Brain mechanisms and plasticity, *American Psychologist*, 2000,55:1196–1214.

De Cesarei A, Codispoti M. When does size not matter? Effects of stimulus size on affective modulation. *Psychophysiology*. 2006,43:207–15.

- Delorme A., Makeig S., EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis, *J. Neurosci. Methods.*, 2004,134(1):9-21.
- Devlin J., Russell R., Davis M., Price C., Wilson J., Moss H., Matthews P., Tyler L., Susceptibility induced loss of signal: comparing PET and fMRI on a semantic task, *Neuroimage*, 2000,11:589–600.
- Eippert F., Veit R., Weiskopf N., Erb M., Birbaumer N., Anders S., Regulation of emotional responses elicited by threat-related stimuli, *Hum. Brain. Mapp.*, 2007,28(5):409-23.
- Farb N., Segal Z., Mayberg H., Bean J., McKeon D., Fatima Z., Anderson A., Attending to the present: mindfulness meditation reveals distinct neural modes of self-reference, *Soc. Cogn. Affect. Neurosci.*, 2007,2(4):313-22.
- Frühholz S., Fehr T., Herrmann M., Early and late temporospatial effects of contextual interference during perception of facial affect, *Int.J.Psychophysiol.*, 2009(74):1–13.
- Garland E., Gaylord S., Fredrickson B., Positive reappraisal mediates the stress-reductive effects of mindfulness: An upward spiral process, *Mindfulness*, 2011,2:59-67.
- Goldin P., McRae K., Ramel W., Gross J., The neural bases of emotion regulation: reappraisal and suppression of negative emotion, *Biol. Psychiatry*, 2008,63(6):577-86.
- Gross J., The emerging field of emotion regulation: An integrative review, *Review of General Psychology*, 1998,2:271–299.
- Grossman P., Niemann L., Schmidt S., Walach H., Mindfulness-based stress reduction and health benefits, a meta-analysis, *J. Psychosom. Res.*, 2004,57(1):35-43.
- Gruber T., Müller M., Keil A., Elbert T., Selective visual-spatial attention alters induced gamma band responses in the human EEG, *Clin. Neuropsychol.*, 1999,110:2074-2085.
- Hämäläinen M., Ilmoniemi R., Interpreting magnetic fields of the brain: minimum norm estimates, *Med. Biol. Eng. Comput.*, 1994,32(1):35-42.
- Hajcak G., Anderson B., Arana A., Borckardt J., Takacs I., George MS., Nahas Z., Dorsolateral prefrontal cortex stimulation modulates electrocortical measures of visual attention: evidence from direct bilateral epidural cortical stimulation in treatment-resistant mood disorder, *Neuroscience*, 2010,170(1):281-8.
- Hajcak G., MacNamara A., Olvet DM., Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: an integrative review, *Dev. Neuropsychol.*, 2010,35(2):129-55.

- Hajcak G., Nieuwenhuis S., Reappraisal modulates the electrocortical response to unpleasant pictures, *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, 2006,6(4):291-7.
- Holzel B., Lazar S., Gard T., Schuman-Olivier Z., Vago D., Ott U., How Does Mindfulness Meditation Work? Proposing Mechanisms of Action From a Conceptual and Neural Perspective, *Perspectives on Psychological Science*, 2011,6(6):537-59.
- James J., Gross Review of General Psychology, The emerging field of emotion regulation: An integrative review, *Review of General Psychology*, 1998,2(3):271-99.
- Jha A., Stanley E., Kiyonaga A., Wong L., Gelfand L., Examining the protective effects of mindfulness training on working memory capacity and affective experience, *Emotion*, 2010, 10:54–64.
- Kabat-Zinn J., Lipworth L., Burney R., The clinical use of mindfulness meditation for the self-regulation of chronic pain, *J. Behav. Med.*, 1985,8(2):163-90.
- Kanske P., Heissler J., Schönfelder S., Bongers A., Wessa M., How to regulate emotion? Neural networks for reappraisal and distraction, *Cereb. Cortex*, 2011,21(6):1379-88.
- Kasulis T., *Zen Action, Zen Person*, Honolulu: University of Hawai'i Press, 1981.
- Keil A., Bradley M., Hauk O., Rockstroh B., Elbert T., Lang P., Large-scale neural correlates of affective picture processing, *Psychophysiology*, 2002,39:641–49.
- Keil A., Muller M.M., Gruber T., Wienbruch C., Stolarova M., Elbert T., Effects of emotional arousal in the cerebral hemispheres: a study of oscillatory brain activity and event-related potentials, *Clinical Neurophysiology*, 2001,112(11):2057-68.
- Kober H., Barrett L., Joseph J., Bliss-Moreau E. Lindquist K., Wager T., Functional grouping and cortical–subcortical interactions in emotion: A meta-analysis of neuroimaging studies, *NeuroImage*, 2008,42:998–1031.
- Krolak-Salmon P., Fischer C., Vighetto A., Mauguière F., Processing of facial emotional expression: spatio-temporal data as assessed by scalp event-related potentials, *Eur. J. Neurosci.*, 2001,13(5):987-94.
- Lehmann D., Skrandies W., Spatial analysis of evoked potentials in man--a review, *Prog. Neurobiol.*, 1984,23(3):227-50.
- Litvak V., Friston K., Electromagnetic source reconstruction for group studies, *Neuroimage*, 2008,42(4):1490-8.
- Martin, F., Mindfulness: A Proposed Common Factor, *Journal of Psychotherapy Integration*, 1997,7(4):291-311.

Lang, P., Bradley, M., Cuthbert, B., International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings, 1999, Gainesville: University of Florida, Center for Research in Psychophysiology.

Lau M., Bishop S., Segal Z., Buis T., Anderson N., Carlson L., Shapiro S., Carmody J., Abbey S., Devins G., The Toronto Mindfulness Scale: development and validation. *J Clin Psychol.* 2006,62(12):1445-67.

Lutz A., Greischar L., Rawlings N., Ricard M., Davidson R., Long-term meditators self-induce high-amplitude gamma synchrony during mental practice, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 2004,101(46):16369-73.

Martini N., Menicucci D., Sebastiani L., Bedini R., Pingitore A., Vanello N., Milanesi M., Landini L., Gemignani A., The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: from local activity to functional connectivity, *Neuroimage.*, 2012,60(2):922-32.

Matsumoto A., Ichikawa Y., Kanayama N., Ohira H., Iidaka T., Gamma band activity and its synchronization reflect the dysfunctional emotional processing in alexithymic persons, *Psychophysiology*, 2006,43:533-40.

Moratti S., Saugar C., Strange B., Prefrontal-occipitoparietal coupling underlies late latency human neuronal responses to emotion, *J. Neurosci.*, 2011,31(47):17278-86.

Morin A., Michaud J., Self-awareness and the left inferior frontal gyrus: inner speech use during self-related processing, *Brain. Res. Bull.*, 2007,74(6):387-96.

Ñāṇamoli, B., The path of purification, Kandy (Sri Lanka): Buddhist Publication Society, 1976.

Ochsner K., Bunge S., Gross J., Gabrieli J., Rethinking Feelings: An fMRI Study of the Cognitive Regulation of Emotion, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2002,14(8):1215–29

Ochsner K., Ray R., Cooper J., Robertson E., Chopra S., Gabrieli J., Gross J., For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion, *Neuroimage*, 2004,23(2):483-99.

Panksepp, J., Affective consciousness: Core emotional feelings in animals and humans *Consciousness and Cognition*, 2005,14:30–80.

Phan K., Fitzgerald D., Nathan P., Moore G., Uhde T., Tancer M., Neural substrates for voluntary suppression of negative affect: a functional magnetic resonance imaging study, *Biol. Psychiatry*, 2005,57(3):210-9.

Roger, D., Jarvis, G., Najarian, B., Detachment and coping: The construction and validation of a new scale for measuring coping strategies, *Journal of Personality and Individual Differences*, 1993,15:619–26.

Rosenzweig S., Reibel D., Greeson J., Brainard G., Hojat M., Mindfulness-based stress reduction lowers psychological distress in medical students, *Teach. Learn. Med.*, 2003,15(2):88-92.

Rudrauf D., David O., Lachaux J., Kovach C., Martinerie J., Renault B., Damasio A., Rapid Interactions between the Ventral Visual Stream and Emotion-Related Structures Rely on a Two-Pathway Architecture, *The Journal of Neuroscience*, 2008,28(11):2793–2803.

Sabatinelli D., Lang P., Keil A., Bradley M., Emotional perception: correlation of functional MRI and event-related potentials, *Cereb. Cortex*, 2007,17(5):1085-91.

Shahar, B., Britton, W., Sbarra, D., Figueredo, A., Bootzin, R., Mechanisms of change in Mindfulness-Based Cognitive Therapy for depression: preliminary evidence from a randomized controlled trial, *International Journal of Cognitive Therapy*, 2010,(3):402-418.

Scharmüller W., Leutgeb V., Schäfer A., Köchel A., Schienle A., Source localization of late electrocortical positivity during symptom provocation in spider phobia: an sLORETA study, *Brain. Res.*, 2011,1397:10-8.

Schupp H., Cuthbert B., Bradley M., Cacioppo J., Ito T., Lang P., Affective picture processing: the late positive potential is modulated by motivational relevance, *Psychophysiology*, 2000,37(2):257-61.

Schupp H., Junghöfer M., Weike A., Hamm A., The selective processing of briefly presented affective pictures: an ERP analysis, *Psychophysiology*, 2004,41(3):441-9.

Schupp H., Stockburger J., Codispoti M., Junghöfer M., Weike A., Hamm A., Selective visual attention to emotion, *J. Neurosci.*, 2007,27(5):1082-9.

Shapiro S., Schwartz G., Bonner G., Effects of mindfulness-based stress reduction on medical and premedical students, *J. Behav. Med.*, 1998,21(6):581-99.

Slagter H., Lutz A., Greischar L., Francis, A., Nieuwenhuis S., Davis J., Davidson R., Mental Training Affects Distribution of Limited Brain Resources, *Plos Biology*, 2007,5(6):1228:35.

Sobolewski A., Holt E., Kublik E., Wróbel A., Impact of meditation on emotional processing-- a visual ERP study, *Neurosci. Res.*, 2011,71(1):44-8.

Taylor V., Grant J., Daneault V., Scavone G., Breton E., Roffe-Vidal S., Courtemanche J., Lavarenne A., Beauregard M., Impact of mindfulness on the neural responses to emotional pictures in experienced and beginner meditators, *Neuroimage*, 2011,57(4):1524-33.

Taylor S., Luan Phan K., Decker L., Israel Liberzona I., Subjective rating of emotionally salient stimuli modulates neural activity, *NeuroImage*, 2003(18):650–59.

Teasdale J., Segal Z., Williams J., How does cognitive therapy prevent depressive relapse and why should attentional control (mindfulness) training help?, *Behav. Res. Ther.*, 1995,33(1):25-39.

Thierry G., Price C., Dissociating Verbal and Nonverbal Conceptual Processing in the Human Brain, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2006,18(6):1018–28.

Treisman A., Solutions to the binding problem: progress through controversy and convergence, *Neuron*, 1999,24:105–125.

Tzourio-Mazoyer N., Landeau B., Papathanassiou D., Crivello F., Etard O., Delcroix N., Mazoyer B., Joliot M., Automated anatomical labeling of activations in SPM using a macroscopic anatomical parcellation of the MNI MRI single-subject brain, *Neuroimage*, 2002,15:273–89.

Varela F., Thompson E., Rosch E., *The Embodied Mind*, *American Journal of Psychology*, 1993,106:121-6.

Worsley K., Marrett S., Neelin P., Vandal A., Friston K., Evans A., A unified statistical approach for determining significant voxels in images of cerebral activation, *Human Brain Mapping*, 1996,4:58-73.

Yuval-Greenberg S., Tomer O., Keren A., Nelken I., Deouell, L., Transient induced gamma-band response in EEG as a manifestation of miniature saccades, *Neuron*, 2008,58:429–41.

Annexe I : Échelle Mindfulness de Toronto

Ici-bas, il y a une liste de choses dont les gens font parfois l'expérience. S'il-vous-plaît, lisez chaque affirmation. À droite de chaque affirmation, il y a 5 choix : « pas du tout », « un peu », « modérément », « passablement », « vraiment beaucoup ».

	Pas du tout	Un peu	Modérément	Passablement	Vraiment beaucoup
Je me suis senti séparé de mes pensées et sentiments changeant.	0	1	2	3	4
J'étais plus intéressé à être ouvert à mes expériences qu'à les contrôler ou les changer.	0	1	2	3	4
J'étais curieux sur ce que je pouvais apprendre sur moi-même en prenant note de comment je réagissais à certaines pensées, émotions, sensations.	0	1	2	3	4
J'expérimentais plus mes pensées comme des événements dans mon champ de conscience que comme nécessairement une réflexion juste de la façon dont les choses sont « vraiment ».	0	1	2	3	4
J'étais curieux de voir ce que mon mental faisait de moment en moment.	0	1	2	3	4
J'étais curieux à propos de chaque pensée ou sentiment que j'avais.	0	1	2	3	4
J'étais réceptif à observer les pensées et sentiments déplaisants sans interférer avec eux.	0	1	2	3	4
J'étais plus investi à seulement observer mes expériences émerger qu'à déterminer ce qu'elles signifiaient.	0	1	2	3	4
J'ai approché chaque expérience en essayant de l'accepter, sans égard à si c'était plaisant ou déplaisant.	0	1	2	3	4
Je demeurais curieux sur la nature de chaque expérience alors qu'elle émergeait.	0	1	2	3	4
J'étais conscient de mes pensées et sentiments sans me sur-identifier à eux.	0	1	2	3	4
J'étais curieux de mes réactions aux choses.	0	1	2	3	4
J'étais curieux à propos de ce que je pouvais apprendre sur moi juste en prenant note de ce qui attirait mon attention.	0	1	2	3	4

Annexe II : Inventaire Mindfulness de Freiburg

Le but de ce questionnaire est de caractériser votre expérience de pleine conscience (mindfulness). S'il-vous-plaît référez-vous aux 30 derniers jours pour répondre aux items. Fournissez une réponse pour chaque item, du mieux que vous pouvez. Il n'y a pas de « bonne » ou « mauvaise » réponse. Ce qui est important est d'utiliser votre propre expérience personnelle.

	Rarement	Occasion- nellement	Vraiment souvent	Presque toujours
Je suis ouvert à l'expérience du moment présent				
Je sens mon corps, que je sois en train de manger, cuisiner, nettoyer, parler.				
Lorsque je remarque une absence d'esprit, je retourne gentiment à l'expérience du moment présent.				
Je suis capable de m'apprécier.				
Je porte attention à ce qui est derrière mes actions.				
Je vois mes erreurs et mes difficultés sans les juger.				
Je me sens connecté à mon expérience dans l'ici-maintenant.				
J'accepte les expériences déplaisantes.				
Je suis amical avec moi-même quand les choses vont mal.				
J'observe mes sentiments sans me perdre en eux				
Dans les situations difficiles, je peux faire une pause sans immédiatement réagir.				
Je fais l'expérience de moment de paix et de bien-être, même quand les choses deviennent chaotiques et stressantes.				
Je suis impatient avec moi et les autres				
Je suis capable de sourire quand je remarque comment je rends parfois la vie difficile.				

Annexe III : Questionnaire de style de gestion émotionnelle

Alors que les gens peuvent réagir de différentes façons aux différentes situations, nous tendons tous à avoir une façon particulière de gérer les choses qui nous contrarient. Comment décririez-vous la manière typique avec laquelle vous réagissez au stress? Encerclez Toujours (T), Souvent (S), Parfois (P) ou Jamais (J) pour **chaque** item ci-dessous :

Me sentir dépassé et à la merci de la situation	T	S	P	J
Faire un plan pour gérer ce qui s'est passé	T	S	P	J
Voir la situation pour ce qu'elle est et rien de plus	T	S	P	J
Voir le problème comme quelque chose de séparé de moi afin que je puisse le gérer.	T	S	P	J
Devenir misérable et déprimé	T	S	P	J
Sentir que personne ne comprend	S	S	P	J
Cesser de faire mes passe-temps ou les choses qui m'intéressent	T	S	P	J
Ne pas voir le problème ou la situation comme une menace	T	S	P	J
Essayer de trouver le côté positif de la situation	T	S	P	J
M'esseuler ou m'isoler	T	S	P	J
Rêvasser au temps passés où les choses allaient mieux	T	S	P	J
Agir pour changer les choses	T	S	P	J
Éviter la famille ou les amis en général	T	S	P	J
Avoir la présence d'esprit au moment de gérer les problèmes ou circonstances	T	S	P	J
Me sentir désespéré - il n'y a rien que l'on puisse faire pour ça.	T	S	P	J
Essayer de trouver plus d'information pour aider à prendre une bonne décision pour les choses	T	S	P	J
Garder les choses pour moi et ne pas laisser les autres savoir à quel point les choses vont mal pour moi	T	S	P	J
Penser à comment une personne que je respecte gérerait la situation et essayer de faire la même chose	T	S	P	J
Me sentir indépendant des circonstances	T	S	P	J
Bien m'asseoir et espérer que tout disparaisse	T	S	P	J

Mettre mes frustrations sur les personnes proches de moi	T	S	P	J
Me « distancer » de sorte que je n'aie à prendre aucune décision à propos de la situation	T	S	P	J
Résoudre la question en ne m'identifiant pas à elle	T	S	P	J
Évaluer moi-même où est le problème sans devenir émotionnel	T	S	P	J
Pleurer, ou en avoir envie	T	S	P	J
Essayer de voir les choses du point de vue de l'autre personne	T	S	P	J
Répondre au problème de façon neutre	T	S	P	J
Prétendre qu'il n'y a rien, même si les gens me demandent ce qui ne va pas	T	S	P	J
Mettre les choses en proportion, rien n'est si important	T	S	P	J
Continuer à me rappeler les bonnes choses à mon sujet.	T	S	P	J
Sentir que le temps arrangera les choses.	T	S	P	J
Me sentir l'esprit clair à propos de tout ça.	T	S	P	J
Essayer de garder le sens de l'humour - rire de moi-même ou de la situation	T	S	P	J
Y penser à fond en espérant que ça passe	T	S	P	J
Penser que je peux faire face à la majorité des choses avec un minimum d'agitation	T	S	P	J
Essayer de ne pas laisser mon cœur maîtriser ma raison	T	S	P	J
Manger plus (ou moins) qu'à l'habitude	T	S	P	J
Rêvasser aux choses s'améliorant dans le futur	T	S	P	J
Essayer de trouver une façon logique d'expliquer le problème	T	S	P	J
Décider qu'il est inutile de me contrarier et faire avec les choses.	T	S	P	J
Me sentir inutile et pas important	T	S	P	J
Faire confiance à la foi - que les choses s'arrangent pour le mieux	T	S	P	J
Utiliser mon expérience passée pour essayer de gérer la situation	T	S	P	J
Essayer d'oublier tout ça.	T	S	P	J
Juste ne rien prendre personnel	T	S	P	J

Devenir irritable et colérique	T	S	P	J
Juste donner toute mon attention à la situation	T	S	P	J
Juste prendre une étape à la fois	T	S	P	J
Me critiquer ou me blâmer	T	S	P	J
Simplement et rapidement négliger toute l'information impertinente	T	S	P	J
Prier que les choses justes changent	T	S	P	J
Penser et parler du problème comme s'il ne m'appartenait pas	T	S	P	J
En parler le moins possible	T	S	P	J
Me préparer au pire dénouement	T	S	P	J
Me sentir parfaitement calme face à l'adversité	T	S	P	J
Chercher la sympathie et la compréhension des autres	T	S	P	J
Voir les choses comme un défi qui doit être affronté	T	S	P	J
Être réaliste dans mon approche de la situation	T	S	P	J
Essayer de penser ou faire quelque chose d'autre	T	S	P	J
Faire quelque chose qui me fera du bien	T	S	P	J

Annexe IV : Liste des images de l'IAPS et spécification de leur valence et intensité émotionnelles.

Bloc 1: 50 images de valence neutre $\mu = 5$, $\sigma = 0.3$; intensité $\mu = 3.6$, $\sigma = 1.1$ et

50 images de valence négatives $\mu = 2.8$, $\sigma = 0.5$; intensité $\mu = 5.4$, $\sigma = 0.7$.

Numéro des images : 4571, 2357, 6838, 5510, 1080, 9635.1, 6200, 7090, 7235, 6022, 5530, 8010, 9330, 2487, 9050, 2716, 2220, 9340, 7010, 9901, 2005, 3015, 5940, 9300, 2446, 2020, 9500, 6510, 7207, 2141, 7180, 6212, 9400, 7053, 9921, 7595, 9270, 3170, 2280, 6900, 7359, 7100, 7550, 3160, 9426, 2840, 7487, 9435, 2688, 2635, 1525, 7233, 3266, 4533, 2715, 2393, 1935, 9160, 2200, 2512, 3230, 7009, 9253, 1051, 3261, 7059, 9171, 6230, 7041, 3064, 2385, 9254, 2800, 7249, 1390, 9471, 7036, 7035, 9427, 6315, 2704, 3220, 9290, 9700, 9429, 4000, 9342, 3301, 1026, 9410, 3191, 7182, 7175, 9007, 9041, 7211, 7361, 3101, 7060, 3168, 8231

Bloc 2: 50 images de valence neutre $\mu = 5$, $\sigma = 0.3$; intensité $\mu = 3.7$, $\sigma = 1$ et

50 images de valence négatives $\mu = 2.8$, $\sigma = 0.5$; intensité $\mu = 5.4$, $\sigma = 0.9$.

Numéro des images : 8231, 3016, 2516, 3530, 9405, 4635, 7052, 6260, 2190, 9265, 9571, 4460, 3010, 6150, 3053, 7050, 3216, 9430, 1101, 2499, 9925, 7283, 2053, 2215, 3061, 7056, 8485, 2276, 5532, 2485, 3225, 4520, 7247, 6825, 3102, 7184, 3181, 6570, 2038, 2595, 9600, 9411, 2700, 1240, 9452, 7705, 6312, 9560, 7161, 5533, 9417, 7044, 2445, 3300, 9090, 2230, 2493, 6370, 2703, 3210, 1310, 6830, 4537, 9220, 3130, 1230, 9182, 7000, 9301, 4536, 6243, 6560, 5534, 9140, 4532, 9181, 5395, 9331, 5740, 6242, 2981, 1321, 9419, 4535, 9800, 7170, 7920.0, 2730, 2495, 7205, 3030, 9425, 7217, 7040, 6834, 2514, 2518, 2710, 3350, 6800

Bloc 3: 50 images de valence neutre $\mu = 5$, $\sigma = 0.3$; intensité $\mu = 3.7$, $\sigma = 1$ et

50 images de valence négatives $\mu = 2.8$, $\sigma = 0.6$; intensité $\mu = 5.4$, $\sigma = 0.9$.

Numéro des images : 9070, 2630, 3100, 2394, 5390, 9470, 2770, 2270, 6821, 9250, 1019, 6561, 4500, 9620, 7055, 7034, 9280, 7950, 2890, 6300, 3080, 7640, 2799, 2372, 2810, 2900.1, 1112, 3180, 9341, 2780, 9120, 9584, 2383, 2690, 9180, 2880, 2870, 1275, 4538, 9006, 3060, 7484, 9000, 7547, 9424, 3063, 4100, 1274, 3069, 2102, 2753, 9920, 5531, 9402, 6250.1, 6350, 1303, 7237, 9010, 3051, 2210, 6610, 4550, 6540, 2320, 1675, 9320, 7285, 3062, 2396, 4503, 9420, 6021, 7150, 2749, 3000, 9040, 6190, 3071, 1945, 9570, 6415, 8465, 2811, 7710, 7490, 2717, 3110, 1270.0, 9415, 9911, 7006, 7002, 9830, 9621, 2214, 2441, 9611, 1120.0, 2375.2

Bloc 4: 50 images de valence neutre $\mu = 5$, $\sigma = 0.3$; intensité $\mu = 3.6$, $\sigma = 1.1$ et

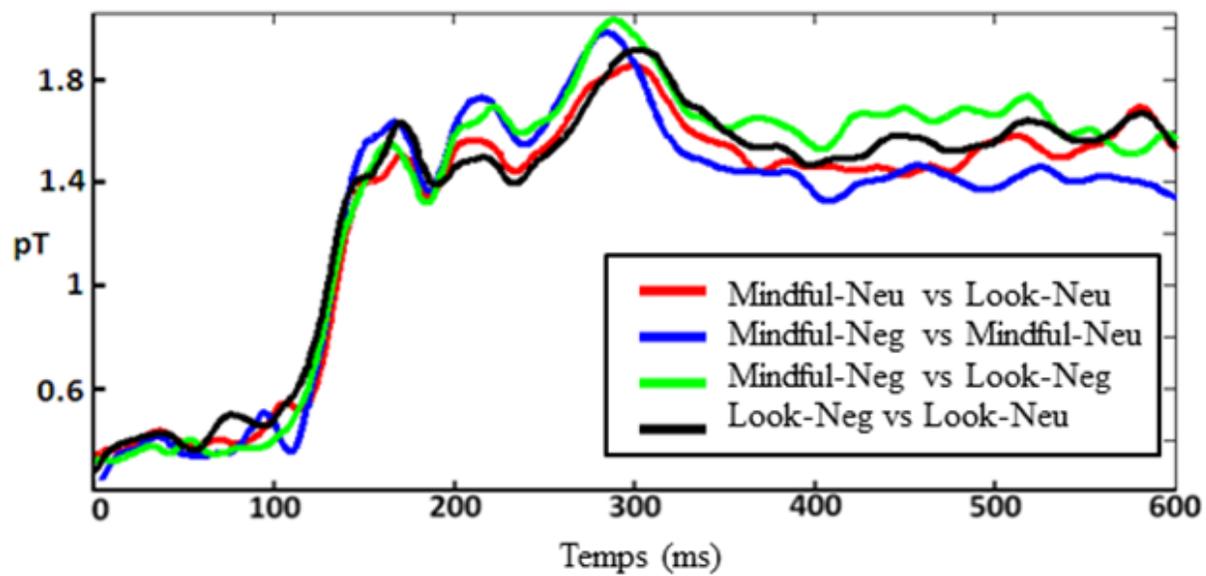
50 images de valence négatives $\mu = 2.8$, $\sigma = 0.5$; intensité $\mu = 5.4$, $\sigma = 0.9$.

Numéro des images : 3068, 1030, 7380, 4520, 9902, 2661, 4559, 3215, 7186, 2120, 9520, 2850, 9530, 7242, 9421, 7160, 2352.2, 4531, 9432, 3000, 1616, 7030, 2751, 9913, 1726, 2455, 9910, 7130, 2580, 3550.2, 7080, 7038, 7500, 3017, 2590, 7185, 9810, 6562, 5520, 3005.2, 3120, 2480, 9090, 9428, 4542, 6940, 6360, 7248, 3140, 2278, 2397, 6831, 5471, 6530, 3302, 9912, 2570, 2095, 2205, 4613, 7179, 6313, 5120, 9903, 9630, 7187, 2750, 7020, 9423, 5731, 1617, 9252, 1932, 7546, 9001, 2410, 2830, 3150, 7491, 9401, 3500, 7830, 6311, 2683, 4470, 9561, 7057, 5535, 3400, 9900, 7037, 3010, 1114, 2745.2, 2055.2, 6550, 7493, 7004, 9433, 4534

Annexe V : Analyses supplémentaires

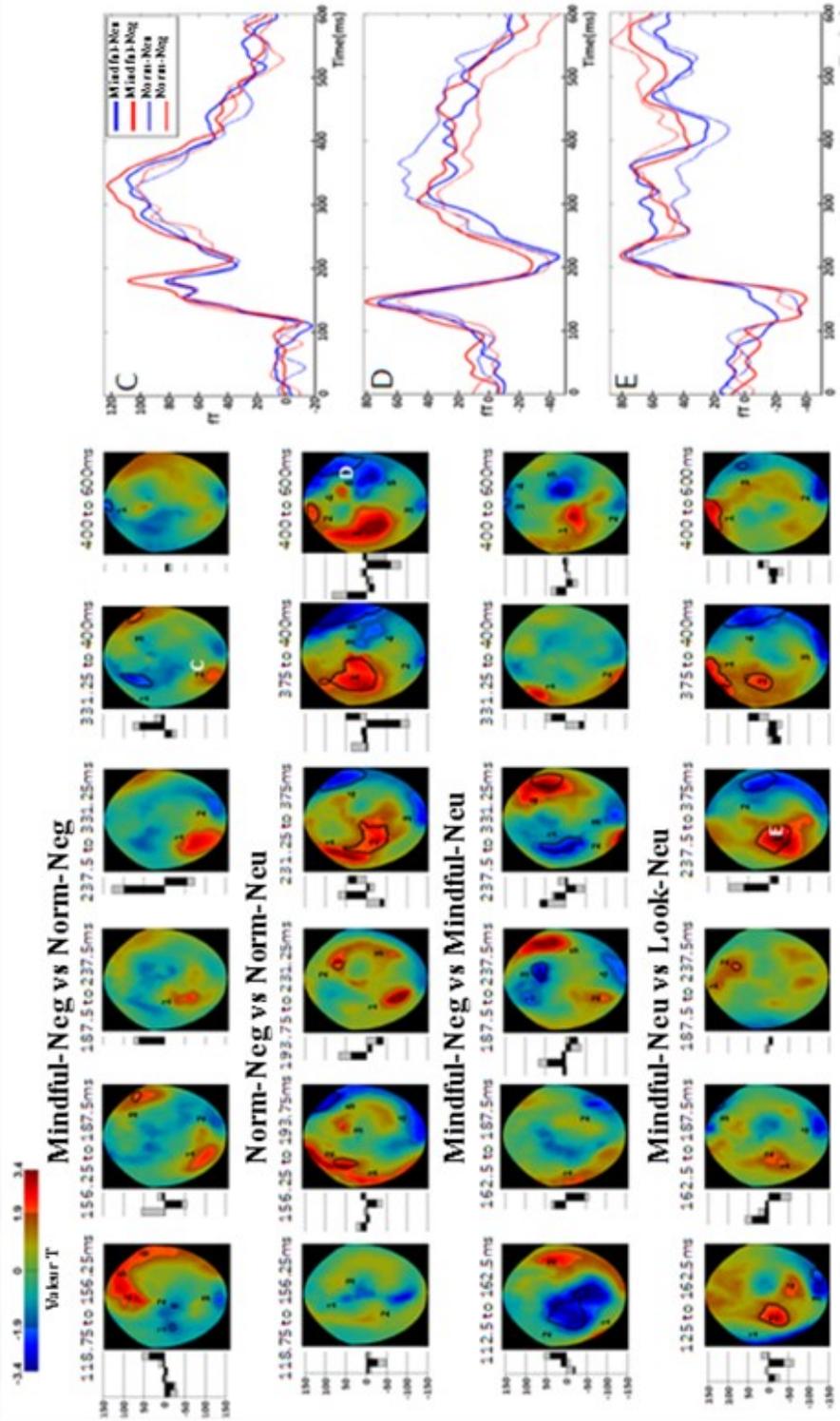
1. Puissance globale des champs magnétiques

Puissance globale de champ des contrastes (Lehmann & Skrandies, 1984). Mindful-Neg = condition mindfulness, images négatives. Mindful-Neu = condition mindfulness, images neutres. Norm-Neg = condition normale, images négatives. Norm-Neu = condition normale, images neutres.



2. Analyse topographique

Test T pairé basé sur les creux entre les sommets du PCG des contrastes (voir l'annexe V numéro 1). Les zones encercées présentent une interaction dans une ANOVA à mesure répétées incluant les facteurs conditions expérimentales (mindfulness et normale) et émotion (images négatives ou neutres). Les tracés magnétiques de trois régions sont présentés à droite. Mindful-Neg = condition mindfulness, images négatives. Mindful-Neu = condition mindfulness, images neutres. Norm-Neg = condition normale, images négatives. Norm-Neu = condition normale, images neutres.



Annexe VI : Liste des publications

Grant J., Duerden E., Courtemanche J., Cherkasova M., Duncan G., Rainville P., Cortical thickness, mental absorption and meditative practice: Possible implications for disorders of attention, *Biol Psychol.*, 2012.

Taylor V., Daneault V., Grant J., Scavone G., Breton E., Roffe-Vidal S., Courtemanche J., Lavarenne A., Marrelec G., Benali H., Beauregard M., Impact of meditation training on the default mode network during a restful state, *Soc Cogn Affect Neurosci.*, 2012.

Taylor V., Grant J., Daneault V., Scavone G., Breton E., Roffe-Vidal S., Courtemanche J., Lavarenne A., Beauregard M., Impact of mindfulness on the neural responses to emotional pictures in experienced and beginner meditators, *Neuroimage*, 2011,57(4):1524-33.

Grant J., Courtemanche J., Rainville P., A non-elaborative mental stance and decoupling of executive and pain-related cortices predicts low pain sensitivity in Zen meditators, *Pain*, 2011,152(1):150-6.

Grant J., Courtemanche J., Duerden E., Duncan G., Rainville P., Cortical thickness and pain sensitivity in zen meditators, *Emotion*, 2010,10(1):43-53.

Beauregard M., Courtemanche J., Paquette V., Brain activity in near-death experiencers during a meditative state, *Resuscitation*, 2009,80(9):1006-10.

Beauregard M., Courtemanche J., Paquette V., St-Pierre E., The neural basis of unconditional love, *Psychiatry Res.*, 2009,172(2):93-8.