

L'effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) du cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) sur la régulation des émotions

Auteur : Vivegnis, André

Promoteur(s) : Hansenne, Michel

Faculté : par Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Education

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée en psychologie clinique

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/16078>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative" (BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

L'effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) du cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) sur la régulation des émotions

Mémoire présenté par André VIVEGNIS

Promoteur : Michel HANSENNE

Lecteurs : Steve MAJERUS et Arnaud D'ARGEMBEAU

En vue de l'obtention du grade de Master en Sciences Psychologiques, à finalité spécialisée en psychologie clinique, filière psychopathologie clinique

Année académique 2021-2022

Remerciements

Je tiens à remercier mon promoteur, Michel Hansenne, pour ses nombreux conseils, sa compréhension et ses encouragements tout au long de ce mémoire. Je remercie également son assistant, Romain Dumont, pour sa gentillesse, sa disponibilité et son aide précieuse lorsqu'il a fallu lancer la récolte de données.

Je remercie mes lecteurs, Steve Majerus et Arnaud D'Argembeau pour le temps qu'ils ont consacré à lire et évaluer ce travail.

Je remercie toute personne qui a contribué de près ou de loin à ce mémoire, que ce soit en participant à mon étude, en relayant mes recherches de participant·e·s, au travers de leur soutien moral ou bien en acceptant de relire mon écrit. Tout particulièrement Florence Miesse, Louis Fouilloux, Antoine Bosly et Antoine Sacré pour avoir su repasser là où mes yeux ne pouvaient plus après toutes ces heures d'écriture.

Je tiens à remercier du plus profond de mon cœur Alix Fournier et Maud Rocoux d'être les meilleur·e·s ami·e·s possible. Sans votre soutien, je n'y serais pas arrivé·e.

Je remercie aussi Michela Daniele, toi-même tu sais.

Enfin, je remercie les personnes que j'ai (re)rencontrées au travers du collectif « TransPédéGouines » d'avoir été ces bouffées d'oxygène et d'adelphité tant nécessaires tout au long de l'année qui vient de s'écouler.

Table des matières

Introduction	4
Les émotions	6
La régulation des émotions	7
Le Modèle processuel	7
La situation	8
L'attention	9
L'évaluation	10
La réponse.....	11
Les motivations derrière la régulation des émotions	11
Les motivations hédoniques	13
Prohédonique	13
Contrahédonique	14
Les motivations instrumentales	14
Performance	14
Epistémique	15
Sociale	16
Eudémonique	17
La régulation non-adaptative et les psychopathologies	17
La stimulation transcrânienne par courant direct (tDCS)	21
Des effets mitigés de prime abord	21
Effet sur la mémoire de travail	22
Effet sur le contrôle inhibitoire	22
Difficulté de réPLICATION des résultats	23
tDCS et régulation des émotions	26
Le cortex préfrontal dorsolatéral (DLPFC)	27
La pertinence du DLPFC dans la régulation des émotions	33
Le cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC)	33
Buts et hypothèses	37

Méthodologie	38
Participant·e·s	38
Mesures auto-reportées	38
Matériel, tâche et procédure	38
tDCS	40
Statistiques	40
Résultats	42
Données démographiques	42
ERQ	42
Suppression expressive	42
Réévaluation Cognitive	43
Effet de la tDCS	43
Analyse des conditions de régulation	43
Test post-hoc	45
Analyse des scores de différences	46
Discussion	48
Pistes explicatives	49
Limites et perspectives	53
Conclusion	55
Bibliographie.....	56
Annexes	70
Résumé	78

1) Introduction

Au cours des dernières décennies, les émotions ont représenté un sujet de recherche particulièrement riche, que ce soit en psychologie ou en neurosciences. L'intérêt pour ces dernières ne date pas d'hier et la relation que l'humain a entretenue avec celles-ci a pour ainsi dire beaucoup évolué au cours du temps. Déjà avant Socrates, les émotions étaient perçues comme perturbatrices de la raison, les premières étant de dangereuses pulsions devant être contrôlées par la sagesse de la seconde (Solomon, 2008, p.3).

Si cette vision a mis plusieurs siècles avant d'évoluer vers quelque chose de plus positif, c'est qu'il a fallu attendre pour pouvoir commencer à comprendre le rôle qu'elles ont à jouer tant dans les processus cognitifs que le développement de l'humain ou encore l'intérêt social qu'elles peuvent représenter. Cela s'est notamment fait au travers de travaux comme ceux de Charles Darwin, Magda Arnold ou encore Alice Isen. Plus les connaissances à leur sujet ont pu évoluer et plus il a été possible d'établir des modèles pertinents concernant les processus physiologiques qui en découlent, leur rôle dans la prise de décision et dans le développement de la prime enfance à l'âge adulte ou enfin dans les différentes façons permettant de réguler la réponse obtenue lors d'une situation pouvant entraîner une ou des émotions.

Au début des années 2000, la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) connaît ses premières utilisations chez l'Homme. Cette dernière est une technique de neurostimulation non-invasive connue depuis les années soixante et qui permet de moduler l'excitabilité neuronale de certaines zones corticales. La tDCS s'est révélée être grandement utilisée dans le cadre de la régulation des émotions et comme traitement cible pour des psychopathologies telles que la dépression ou l'anxiété. En effet, des profils dysfonctionnels au niveau de la régulation des émotions sont typiquement retrouvés dans ces pathologies et au cours des dernières années, plusieurs études se sont montrées prometteuses quant à l'amélioration de capacités cognitives, dont la réévaluation cognitive, une technique de régulation des émotions.

Si la tDCS s'avère être pleine de promesses suite aux différentes études s'y étant intéressées, comme le démontrent plusieurs méタanalyses, les résultats obtenus peuvent souvent faire preuve d'une grande hétérogénéité au niveau des méthodologies employées, avoir des effets modestes ou bien faire preuve d'une grande variabilité au niveau des résultats (Dedoncker et *al.*, 2016 ; Zhang et *al.*, 2022). Parmi les facteurs modérateurs, Zhang et *al.* (2022) ont remarqué que dans le cadre des effets d'une session unique de tDCS sur la diminution ou le maintien de l'intensité des émotions négatives, l'emplacement des électrodes sur le scalp s'avère être une des variables

les plus significatives. Plus particulièrement, la position de l'anode est cruciale, avec des effets significatifs pour le cortex préfrontal dorsolatéral droit mais aussi le cortex préfrontal ventrolatéral gauche. La position de la cathode, quant à elle, montre des effets significatifs lors qu'elle est placée sur l'aire controlatérale supraorbitale.

Au vu des éléments rapporté dans la littérature scientifique sur le sujet des effets de la tDCS sur la régulation des émotions, je me suis intéressé·e¹ à l'effet de celle-ci sur une aire spécifique du cortex préfrontal, à savoir la portion ventrolatérale. Les effets ont été explorés au travers d'une tâche de régulation des émotions présentée sur un écran avec 75 images issues de l'IAPS (*International Affective Picture System*, Lang et al., 2008). Mon échantillon s'est composé de 48 participant·e·s allant de 20 à 29 ans et ayant au préalable été familiarisé·e·s avec la technique de régulation des émotions qui leur a été demandée lors de la tâche expérimentale.

¹ Dans une optique de représentation égalitaire des genres et puisqu'étant moi-même non-binaire, ce travail sera rédigé en écriture inclusive. Le support d'orthographe inclusif ayant été utilisé pour rédiger ce mémoire a été le dictionnaire en ligne « eninclusif.fr », référençant à l'heure de l'écriture 39083 mots et leurs variantes orthographiques inclusives.

2) Les émotions

Les émotions constituent une grande part du quotidien de tout un chacun. Tantôt positives tantôt négatives, elles sont généralement considérées comme limitées dans leur durée, bien qu'elles puissent toutefois influencer l'individu sur le long terme. Elles ont un rôle important dans le développement de l'humain, dans ses interactions sociales, elles influencent ses cognitions ainsi que ses comportements (Frijda, 1986) et, dans un plus large aspect, sa physiologie en se manifestant au travers de signes physiques pouvant être perceptibles.

De prime abord, les émotions pourraient – bien qu'elles ne se limitent pas qu'à cela et qu'il n'existe pas de *consensus* dans la littérature sur leur définition (Frijda, 2008, p.73) – être considérées comme le résultat de processus et de mécanismes internes d'évaluation de l'environnement propres à l'individu (Sloman, 1987). Ces dernières permettraient de l'aider à résoudre le décalage entre ce qu'iel ressent et ce qui l'entoure, que ce décalage soit immédiat et issu d'un inconfort face à une situation (Ledoux, 1996) ou bien plus complexe et résultant d'une atteinte quelconque à l'intégrité ou aux buts de l'individu, relevant alors d'une évaluation cognitive (Lazarus, 1991).

Toutefois, les émotions sont aussi un phénomène multifacette impliquant des réactions dans tout le corps tant à des niveaux physiologiques que comportementaux et allant même jusqu'à influencer le vécu subjectif de l'individu. Comme mentionné dans le premier paragraphe, selon Frijda (1986), les émotions peuvent être un puissant moteur comportemental influençant la prise de décision, poussant à parfois faire quelque chose qui n'aurait pas – ou aurait – été fait dans des circonstances où l'expérience émotionnelle de l'individu n'aurait pas exercé d'influence sur ses décisions.

Enfin, toujours selon Frijda (1986), les émotions ont une composante impérative, dans le sens où elles peuvent s'imposer à l'individu, stoppant alors tout ce qu'iel fait et attirant son attention sur elles. Naturellement, du fait de leur qualité de réaction à un stimulus extérieur, ces dernières peuvent entrer en compétition avec les multiples réponses possibles occasionnées par les stimuli environnants vécus. Cette compétition entre les multiples réponses émotionnelles possibles qui co-existent dans l'individu permet de souligner le caractère malléable de la réponse émotionnelle, ce qui permet d'introduire des stratégies ponctuelles de régulation des émotions afin d'en adapter l'intensité subjective ainsi que de modifier les conséquences aussi bien internes qu'externes de l'expérience émotionnelle.

3) La régulation des émotions

Le rôle de la régulation des émotions peut être expliqué au travers de trois de ses composantes principales (Gross & Thompson, 2007, p.8). Premièrement, réguler les émotions implique que l'individu module l'intensité des réponses émotionnelles tant positives que négatives, dans le but d'augmenter ou de diminuer l'effet résultant, en fonction du caractère appétant ou non de ce dernier. Ensuite, bien que cette dernière soit consciente, il est aussi important de souligner que la régulation des émotions peut être faite de manière automatique, comme lorsque l'individu régule une réponse émotionnelle négative afin d'éviter de subir les conséquences indésirables possibles dans une situation sociale. Cependant, il serait plus pertinent d'aborder ces deux facettes non pas comme des opposés mais plutôt comme deux axes du *continuum* d'un même phénomène. Enfin, la régulation des émotions constitue une stratégie cognitive qui permet de réguler le vécu subjectif de l'individu. En ce sens, bien qu'il existe un versant pathologique, il n'y a pas nécessairement de bonne ou de mauvaise manière de le faire (Thompson & Calkins, 1996).

La régulation des émotions pourrait donc être définie comme l'action, consciente ou automatique, de réguler les émotions chez soi ou quelqu'un d'autre, comme pourrait le faire un parent qui tenterait d'arrêter les pleurs de son enfant. Thompson (1990) postule qu'au travers de processus divers et variés il est possible d'influencer les dynamiques émotionnelles et donc de changer la réponse émotionnelle, que ce soit en modulant son intensité, en altérant sa nature ou bien simplement en la réprimant.

3.1. Le Modèle processuel :

D'après le « Modèle processuel » (Gross, 1998a ; Gross & Thompson, 2007, p10), pour que l'individu fournit une réponse émotionnelle il est nécessaire qu'il se retrouve face à une situation qui, dans un contexte qui lui est pertinente, suscite son attention afin qu'il l'évalue. Le plus souvent, la situation suscitant l'attention de l'individu est d'origine extérieure. Toutefois, les représentations mentales de l'individu – et donc d'origine intérieure – peuvent elles aussi déclencher la séquence attentionnelle amenant alors à une évaluation cognitive. Pour expliciter ce scénario, il suffit d'imaginer qu'une personne croise quelqu'un·e qu'il connaît en coup de vent et que cette personne ne l'a pas salué. Dans la plupart des cas, cela pourrait simplement être parce qu'il ne l'a pas vu·e et donc être non-intentionnel, alors que les représentations mentales de l'individu pourraient l'amener à penser que cela l'était et entraîner une réponse émotionnelle à valence négative, comme de la tristesse ou de la colère. Tout en

suivant la séquence « Situation → Attention → Evaluation → Réponse », agir ponctuellement sur une de ces parties de la séquence permettrait de moduler l'intensité de l'expérience émotionnelle vécue ou alors, dans le cas d'un changement cognitif, réévaluer la situation vécue et changer la réponse émotionnelle, ce qui à son tour pourrait changer la situation vécue, au travers d'une boucle de rétroaction. Sur base de la figure 1, basée sur le modèle processuel de Gross & Thompson (2007), il est possible de déterminer cinq moments propices à une stratégie de régulation implantable dans le processus de production d'une réponse émotionnelle.

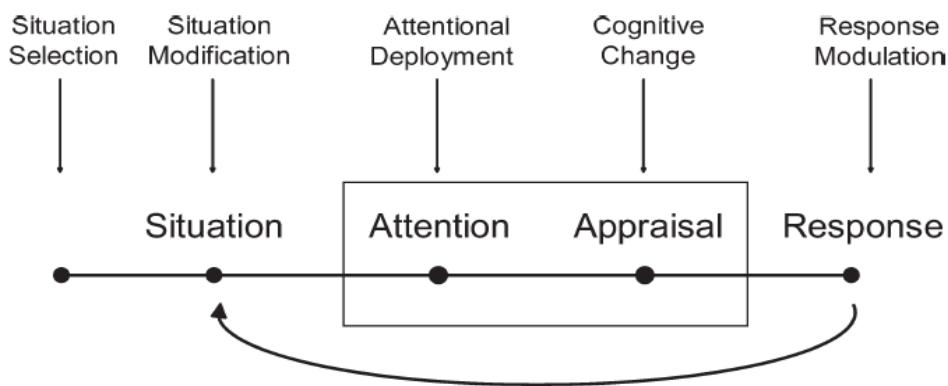


fig. 1. Processus de régulation des émotions basé sur les cinq différentes stratégies de régulation des émotions, illustration de Gross, J.J. & Thompson, Ross. (2007). Emotion Regulation: Conceptual Foundations. Handbook of Emotion Regulation. 3-27.

3.1.1. La situation :

Dans un premier temps, il existe deux possibilités d'action sur la situation : choisir la situation et modifier cette dernière. Choisir la situation est une stratégie anticipatoire qui permettrait d'éviter l'issue prédictive par l'individu, ce afin d'éviter l'apparition de potentielles émotions négatives. Bien que cette stratégie évite l'issue indésirable, elle nécessite cependant de comprendre les composantes de la situation, de déterminer les bénéfices ainsi que les inconvénients sur le court et le long terme, en plus de prédire les émotions les plus probables d'apparaître. Cela n'est pas tout à fait une stratégie à la portée de tout le monde – les enfants par exemple, pour des raisons développementales – et elle nécessite aussi d'être capable d'évaluer rétrospectivement des situations similaires déjà vécues, ce qui risque d'introduire divers biais potentiels, notamment d'interprétation des émotions qui pourraient être vécues dans le futur.

La seconde stratégie relative à la situation consiste à modifier la situation en elle-même afin de modifier l'impact émotionnel de cette dernière sur l'individu. Par exemple, comme mentionné plus haut, lorsqu'une personne croise quelqu'un·e qu'iel connaît et que ce·tte dernier·ère ne læ

salut pas, une modification de situation pourrait consister l'interpeller et à la saluer. Cette stratégie est souvent utilisée de façon automatique par les parents face à une réaction émotionnelle négative chez leur enfant, comme des pleurs, afin de réguler leur réponse émotionnelle tout en modifiant la situation initiale (Gross & Thompson, 2007, p.12). Gross (2008, p.502) mentionne au sujet de la modification de situation que dans certains cas, l'expression d'une émotion peut être une forme de régulation des émotions. Il élabore en expliquant que l'expression émotionnelle peut avoir des conséquences sociales, comme la perception de tristesse chez quelqu'un·e dans une situation de dispute, entraînant l'offre d'un soutien émotionnel ou d'excuses, au lieu de la colère initialement ressentie.

Au vu de la nature assez malléable de ce qu'est une situation, il peut être compliqué de déterminer quand est-ce qu'une situation est régulée au travers de la sélection ou de la modification de celle-ci. Modifier une situation peut créer une nouvelle situation et le même constat est applicable lorsque l'on sélectionne une situation.

3.1.2. L'attention :

Suivant les stratégies visant la modification de la situation vécue, il est possible d'agir sur les processus attentionnels dirigés vers celle-ci, au moyen de la stratégie du déploiement attentionnel. Chaque situation est suffisamment complexe que pour posséder des éléments variés sur lesquels l'attention de l'individu peut se poser. Le déploiement attentionnel fait référence aux ressources attentionnelles mises en place par l'individu dans une situation afin d'influencer ses émotions. Cette technique de régulation des émotions peut être perçue comme une version de la sélection de la situation orientée vers les processus internes de celle-ci. Cette technique peut se montrer particulièrement utile lorsque la modification d'une situation est impossible.

Dans les faits, il existe trois types de stratégies attentionnelles possibles : la distraction, qui consiste à rediriger les ressources attentionnelles ailleurs que vers la situation ; la concentration, qui se focalise sur les composantes émotionnelles de la situation ; et la ruminat qui fait référence à la focalisation persistante sur des pensées ou des émotions associés à une situation émotionnellement chargée.

La distraction implique des changements attentionnels s'éloignant des aspects émotionnels de la situation, comme le changement de direction dans le regard qu'on peut retrouver chez les enfants lors de situations excessivement chargées pour eux. La distraction peut aussi impliquer des changements plus internes et moins directement observables. Ces changements

peuvent survenir en faisant appel à des souvenirs ou des pensées allant à l'encontre de l'émotion ressentie dans la situation qui est en train d'être vécue.

La concentration est l'exact opposé de la distraction. Dans cette stratégie on se focalise sur les aspects émotionnels de la situation, ce qui a pour conséquence d'augmenter le ressenti émotionnel.

La rumination, quant à elle, consiste en la focalisation de son attention sur le ressenti émotionnel et les conséquences qui peuvent en découler. Contrairement à la distraction, qui pousse à rediriger son attention vers des éléments extérieurs tels que les différents stimuli en compétition dans l'environnement ou vers des éléments internes tels que les pensées, la rumination implique une focalisation particulièrement rigide d'une attention dirigée vers l'interne. En cela, il est à noter que la rumination est généralement associée à stratégie dite « non-adaptative », car elle a tendance à jouer un rôle important dans la durée et l'intensité des émotions négatives (Bushman, 2002) et serait associée à des niveaux plus élevés de symptômes dépressifs (Spasojević & Alloy, 2001).

3.1.3. L'évaluation :

Dans la continuité, cette stratégie-ci consiste à directement agir sur les cognitions relatives à la situation. En effet, malgré la survenue de situations induisant potentiellement une réaction émotionnelle, ces dernières n'entraînent parfois pas de réaction (Gross, 2008, p.503) car il est nécessaire que l'individu leur accorde une signification afin de produire une réponse.

Dans cette optique, réévaluer les cognitions associées à la situation pourrait permettre de modifier la signification accordée à cette dernière et ainsi à changer la réponse émotionnelle initialement obtenue. Lors de cette réévaluation cognitive, des mécanismes de contrôle *top-down* sont en œuvre et ces derniers impliquent activement des régions préfrontales associées à ce type de contrôle (Gross, 2008, p.504).

Dans l'éventualité où la réévaluation cognitive est utilisée assez tôt dans le processus générant une réponse émotionnelle, une étude visant à déterminer si la réévaluation cognitive affectait le rappel d'information lors d'une tâche de réévaluation cognitive (Richards & Gross, 2006) a démontré qu'il s'avère que cette dernière ne vient pas interférer avec les autres processus en cours.

Tous ces éléments tendent à suggérer que la réévaluation cognitive altère les composantes expérientialles, comportementales et physiologiques de la réponse émotionnelle sans pour autant nécessiter un grand coût cognitif afin d'être mise en place.

3.1.4. La réponse :

La dernière stratégie possible en utilisant les modèle processuel est celle de la modulation de la réponse émotionnelle. Cette dernière peut s'effectuer au travers de la modification des différentes composantes de celles-ci, telles que la physiologie, l'expression ou le comportement. Au vu de sa nature, la modulation de la réponse a lieu à posteriori, puisqu'il faut avoir conscience des conséquences de la réponse.

La modulation de la réponse émotionnelle peut s'effectuer en tentant de diminuer son intensité en se relaxant, en réalisant une activité qui permet de décharger la charge émotionnelle de la réponse ou bien, en tentant simplement de supprimer son expression comportementale.

Concernant la suppression expressive, au même titre que la rumination dans les stratégies attentionnelles, celle-ci peut être non-adaptative dans certains cas. En effet, si supprimer les expressions visibles de l'émotion permet de ne pas entraîner de répercussions sociales, cela ne permet pas pour autant de réduire l'intensité de l'émotion ressentie par la personne. Selon une étude de Gross & Levenson (1993), il existe deux oppositions quant à l'issue d'une suppression excessive : soit les émotions débordent de là où elles le peuvent, comme au travers de manifestations physiologiques accrues, soit elles sont inhibées, conformément à l'hypothèse du feedback facial.

Cependant au niveau de la littérature, aucun résultat ne semble nettement aller dans un sens ou dans l'autre. Celle-ci rapporte d'ailleurs que lors de l'application d'une suppression expressive, il y activation des portions dorsolatérale et médianes des régions préfrontales, suggérant un contrôle cognitif important, ainsi que de l'amygdale, une zone critique concernant la génération d'émotions. Tous ces éléments tendent à suggérer que la suppression expressive entraînerait, comparativement à aucune autre technique de régulation des émotions, un rappel des événements de moins bonne qualité lors de l'application de cette stratégie, puisque le degré de distraction associé à la suppression expressive est important (Richards & Gross, 2006).

3.2. Les motivations derrière la régulation des émotions :

La littérature scientifique s'est beaucoup intéressée aux processus afférents à la régulation des émotions et de ce fait peu d'auteur·rice·s ont, en comparaison, exploré de manière empirique

le sujet des motivations entraînant un tel mécanisme régulatoire. La régulation des émotions se fait généralement dans le but de satisfaire des objectifs supérieurs, c'est-à-dire l'obtention de résultats recherchés. En fonction de cela, la nature et les conséquences de la régulation des émotions vont varier.

L'action de réguler ses émotions implique de tenter de modifier un état mental ou un comportement, afin d'obtenir une réponse désirée. Pour comprendre le processus de régulation des émotions, il est aussi nécessaire de comprendre les motivations derrières celui-ci. Des études comme celles de Gross, Richards & John (2006), Riediger et *al.* (2009) ou encore Kämpfe & Mitte (2009) mettent en avant qu'entre 70 et 92% du temps, les personnes cherchent à maintenir ou augmenter l'intensité d'une émotion agréable et diminuer celle d'une émotion désagréable. A contrario, entre 9 et 56% du temps, les personnes cherchent à faire l'opposé, à savoir diminuer l'intensité d'une émotion positive ou augmenter celle d'une émotion négative. Cette variabilité au niveau des résultats mentionnés plus haut tend à questionner le postulat selon lequel les personnes régulent leurs émotions dans le simple but d'augmenter leur ressenti émotionnel positif et de diminuer leur ressenti émotionnel négatif.

Lorsque l'on se penche sur les contextes spécifiques dans lesquels les personnes souhaitent ressentir certaines émotions, elles aussi spécifiques, on observe que par exemple lorsque des participant·e·s sont questionné·e·s sur ce qu'iels veulent ressentir lorsqu'iels font face à un échec, 35% rapportent ne pas vouloir se sentir mieux (Heimpel et *al.*, 2002). Dans une autre étude, menée par Tamir, Ford & Ryan (2013), 55% des participant·e·s ont dans une certaine mesure rapporté vouloir ressentir de la colère lorsqu'iels étaient amené·e·s à négocier avec un·e inconnu·e. En générale, plusieurs facteurs tendent à influencer la réponse émotionnelle désirée : les traits de personnalité (Augustine et *al.*, 2010), l'estime de soi (Wood et *al.*, 2006) ou encore la culture (Tsai et *al.*, 2006). Cependant, ce ne sont pas les seuls facteurs à prendre en compte et la motivation peut se révéler être un explicateur permettant une compréhension plus globale de la raison poussant les personnes à réguler leurs émotions.

A la question « Pourquoi les gens régulent leurs émotions ? », Tamir (2015) tente de dresser un modèle exhaustif des catégories de motivations pouvant entraîner une tentative de régulation des émotions chez une personne. Tantôt dans l'attente de résultats comportementaux, tantôt dans l'attente de résultats émotionnels, l'être humain tend à réguler ses émotions dans le but d'obtenir une conséquence désirée. A cet effet, Tamir (2015) a identifié deux classes motivationnelles : les motivations d'ordre hédoniques, parmi lesquelles on retrouve la régulation prohédonique (afin de ressentir du plaisir) ou la régulation contrahédonique (afin de

souffrir) ; et les motivations instrumentales, parmi lesquelles on retrouve la régulation dans un but de performance (faire), dans un but épistémique (connaître), social (créer un lien) ou bien eudémonique (exister).

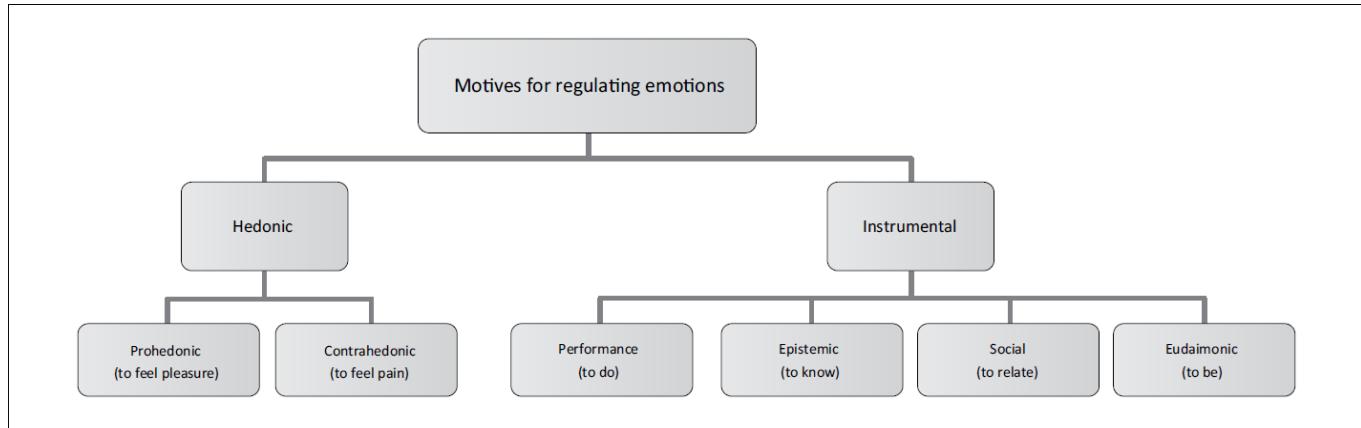


fig. 2. Taxonomie des motivations dans la régulation des émotions, illustration de Tamir. (2015) *Why do people regulate their emotions? A taxonomy of motives in emotion regulation. Personality and Social Psychology Review* 2015, Vol. 20(3) 199–222.

3.2.1. Les motivations hédoniques :

L'être humain est intrinsèquement motivé à maximiser le plaisir et diminuer la souffrance. En effet, puisque les émotions possèdent soit une valence positive, soit une valence négative, les personnes peuvent être motivées à faire varier l'intensité subjective d'une émotion sur base hédonique, c'est-à-dire la recherche du plaisir.

3.2.1.1. Prohédonique :

Dans cette optique-là et selon la taxonomie de Tamir (2015), les personnes s'engageant dans une maximisation du plaisir – et donc une diminution de la souffrance – procèdent à une régulation dite « prohédonique ». La désirabilité des émotions varie en fonction de leur valence (Tsai et al., 2006 ; Kampfe & Mitte, 2009) et selon Gross, Richards & John (2006), la plupart du temps les personnes s'adonnent plus volontiers dans l'augmentation d'une émotion positive, ainsi que dans le diminution d'une émotion négative.

Cependant, de tels résultats ne constituent pas une preuve de la prédominance d'une motivation prohédonique chez l'être humain et lors de la régulation des émotions, le fait que cette action précise entraîne certains résultats ne signifie pas que la personne modulant sa réponse émotionnelle recherchait ces résultats en particulier.

3.2.1.2. Contrahédonique :

A contrario, dans certains scénarios, les personnes régulant leur émotions peuvent être amenées à augmenter leur souffrance et diminuer leur plaisir. Un tel cas de figure est ce qu'on appelle une régulation « contrahédonique ». Ce type de motivation survient dans des cas de figures particuliers, comme celui de rechercher une souffrance moins intense mais sur une plus longue période plutôt qu'une souffrance intense sur une courte période. Bien que cela signifie une plus grande souffrance au total, cela reflète la préférence des personnes pour des émotions moins désagréable, comparativement à celles qu'ils auraient ressenties s'ils avaient choisi une souffrance intense sur une courte période.

Borkovec, Alcaine & Behar (2004) ont mis en évidence ce genre de mécanismes dans des profils de personnes ayant un trouble de l'anxiété généralisé. La plupart du temps, le maintien de l'inquiétude constante permet d'éviter, selon eux, des expériences émotionnelles subjectivement pires. Il est à noter que cette recherche d'émotions négatives ne se cantonne pas qu'à des scénarios où la personne choisit la solution la moins pire selon sa perception. Dans certains cas, les personnes peuvent être motivées à rechercher l'augmentation de la peur en regardant un film d'horreur, qui est positivement corrélée avec le plaisir rapporté lors du visionnage (Adrade & Cohen, 2007), ou encore dans le cadre de l'écoute et la recherche de la tristesse dans de la musique (Huron, 2011).

3.2.2. Les motivations instrumentales :

Là où les motivations hédoniques se focalisent sur la maximisation du plaisir immédiat, les motivations instrumentales sont plutôt orientées vers les bénéfices émotionnels potentiels et futurs. Ce qui les différencie donc, dans leur essence, est principalement le résultat recherché. Cependant, ces deux motivations peuvent parfois co-exister et œuvrer dans un même but.

3.2.2.1. Performance :

Parmi les différentes motivations instrumentales, on retrouve en premier les motivations liées à la performance. Ces motivations sont le reflet du désir de l'individu à atteindre des objectifs concrets qui sont le résultat direct de leurs actions. Dans les faits, puisque les émotions influencent aussi bien les cognitions que le comportement, les motivations liées à la performance pourraient être elles aussi divisées en ces deux même catégories. Si les personnes font le lien entre certaines émotions et certains fonctionnements cognitifs précis, cela peut les pousser à rechercher à ressentir des émotions spécifiques en fonction du but recherché. Ce

même constat peut aussi s'appliquer à la sphère comportementale. Tamir, Mitchell & Gross (2008) ont évalué la performance lorsque des participant·e·s étaient amené·e·s à jouer à un jeu vidéo nécessitant d'el·leux d'être plus agressif·ve·s. Celleux-ci augmentaient leur colère afin de mieux performer. Le même constat a été réalisé par Tamir & Ford (2009), mais pour un jeu nécessitant d'éviter un danger. Les participant·e·s, ici, augmentaient leur peur afin de mieux performer au jeu. Notons que ces motivations de performance sont aussi présentes dans la vie de tous les jours et dépendent du contexte dans lequel l'individu se trouve, qu'il soit personnel ou interpersonnel. De ce que la littérature sait à l'heure actuelle, ce qui pousse une personne à s'engager dans une régulation performative est la croyance liée aux attentes désirées ou indésirées, l'augmentation des émotions désirables et la diminution des indésirables.

3.2.2.2. Épistémique :

Toujours selon la taxonomie de Tamir (2015), nous retrouvons ensuite les motivations épistémiques. Dans sa définition linguistique, « épistémique » renvoie à la connaissance d'un concept au travers de ses racines, ses origines. Ce terme renvoie aussi à la connaissance de ce qui a du sens. Des motivations épistémiques renvoient donc à la connaissance de ce qui est réel dans le monde mais aussi à propos de soi. Et cela ne semble pas incongruent avec le fait que les émotions représentent des informations précieuses sur l'état d'une personne, qu'elles soient positives ou négatives. Cette information constituerait donc une forme d'apprentissage sur soi-même, voire sur le monde, en confirmant des conceptions existantes.

Cependant, la valence des émotions n'est pas nécessairement indicatrice de l'état recherché par la personne. Greene et *al.* (2012) ont examiné la motivation des gens à ressentir de la colère face à l'injustice. Iels ont observé que plus les participant·e·s étaient motivé·e·s à maintenir leur colère face à de l'injustice, plus iels se percevaient positivement sur une échelle d'évaluation morale. Dans ce cas-ci, maintenir voire augmenter une émotion à valence négative entraîne un résultat perçu comme positif et contribue à l'auto-vérification.

Notons que les préférences liées aux émotions à ressentir dans le but de se découvrir semblent aussi impactées par les prédispositions affectives. Certains troubles affectifs, tels que la dépression majeure, peuvent pousser les gens à ne se focaliser que sur les émotions à valence négative dans des buts d'auto-vérification ou bien d'estime de soi. Ces comportements peuvent entraîner la confirmation de biais de perception négatifs présents chez la personne. Additionnellement, la connaissance et la confirmation de conceptions du monde sont aussi des motivations que l'on retrouve dans la régulation épistémique.

Un facteur comme la culture, est un élément à prendre en compte lorsque l'on s'intéresse à cette facette-ci de la régulation épistémique. En 2011, Miyamoto & Ma se sont intéressées aux différences culturelles pouvant exister dans la modulation d'émotions et les croyances dialectiques (« il vaut mieux éviter les états émotionnels extrêmes car cela peut avoir des conséquences négatives ») pouvant exister entre les cultures occidentales et orientales. 23% des participant·e·s japonais·es ont rapporté des croyances dialectiques comme motivation à modifier une réponse émotionnelle, contrairement à 5% des américain·e·s de descendance européenne. Ces résultats tendent à suggérer que les personnes peuvent être motivées à réguler leurs émotions de sorte à confirmer leur connaissances sur le monde.

3.2.2.3. Social :

Les motivations dites « sociales » constituent, quant à elles, une classe de motivations comportant plusieurs mécanismes étroitement liés. Parmi ceux-ci on retrouve les relations proches/dyadiques, les relations de groupe ou encore les mécanismes culturels. Chacune de ces parties influence les motivations sociales en fonction du contexte dans lequel se trouve la personne. Dans la plupart des cas, les motivations sociales ont pour but de communiquer des informations facilitant les relations sociales.

Dans le cadre des relations proches, il est important de tenir compte du profil d'attachement de la personne (Bowlby, 1969) car une personne présentant un profil d'attachement insécur-anxieux n'activera pas les mêmes représentations/modèles internes opérants qu'une personne ayant un profil d'attachement insécur-évitant ou même sûre. Dans le premier profil, l'intimité et la proximité sont des sphères qui vont être hyperactivées en priorité afin de calmer l'activation du système d'attachement là où dans le second profil, ce sont des sphères qui vont être désengagées. Conformément à ces modèles, les personnes présentant de l'anxiété vont prioriser l'augmentation de leur ressenti émotionnel et la communication de celui-ci, là où les personnes évitantes font l'inverse. L'expression émotionnelle – ou non – peut constituer une manière d'influencer le comportement des individus de notre entourage proche, afin de solliciter de l'aide ou du soutien, mais aussi afin d'influencer la perception que les gens ont d'elleux.

Dans le cadre des relations de groupe, les émotions de groupe sont un puissant moteur de cohésion qui facilitent le sentiment d'appartenance mais aussi l'action de groupe (Mackie, Devos & Smith, 2000). De la même façon que des émotions semblables influencent positivement les relations proches/dyadiques, des émotions semblables entre les membres du

groupe encouragent une dynamique et des actions coordonnées plus efficaces (politiques par exemple (Thomas, McGarty & Mavor, 2009)). Dans ce genre de scénarios, il est plus que probable que les personnes régulent leurs émotions de groupe dans l'optique de satisfaire un objectif commun au groupe, mais aussi, comme mentionné plus haut, dans le but d'avoir un sentiment d'appartenance à un groupe, ce qui est quelque chose de foncièrement humain.

Enfin, au niveau social, on retrouve les motivations liées aux mécanismes culturels. De façon assez similaire aux relations de groupes, les mécanismes culturels découlent d'un sentiment de commun, de partage entre une identité commune, des normes ou encore des valeurs culturelles en commun. Des aspects tels que le fait d'être dans une culture individualiste – mettant l'emphase sur l'indépendance et la fierté – ou une culture collectiviste – mettant l'emphase sur l'interdépendance et l'harmonie sociale – sont des éléments qui viennent colorer les processus liés à ces aspects motivationnels sociaux. Les influences sociales viennent non seulement contribuer à l'attraction face à certaines émotions, mais contribuent aussi positivement à l'envie de ressentir ces mêmes émotions plus attrayantes.

3.2.2.4. Eudémonique :

Enfin, parmi les motivations instrumentales, la dernière des régulations, dite « eudémonique » est celle qui a comme objectif de développer l'autonomie et la compétence et de façon plus large, de trouver un sens à leur existence. La plupart du temps, les personnes étant attirées par des divertissements induisant des émotions le font pour des raisons eudémoniques. Qu'els le fassent dans le but de trouver une signification ou un sens à leur existence (Oliver & Raney, 2011), dans le but de développer des compétences ou encore l'autonomie (Tamborini et *al.*, 2010), ces activités procurent une stimulation émotionnelle sur base de la curiosité face à celles-ci et l'ouverture face à l'expérience que cela représente. Toujours selon Oliver & Raney (2011), les personnes recherchant les situations stimulantes émotionnellement le font, pour la plupart, pour des raisons eudémoniques et les bénéfices qu'els peuvent en tirer.

3.3 La régulation non-adaptative et les psychopathologies :

Jusqu'à présent, seuls les versants adaptatifs de la régulation des émotions ont été abordés dans le présent travail. Il faut cependant souligner que s'il existe des versants fonctionnels à la régulation des émotions, il en existe aussi des dysfonctionnels.

Gross (1998a) questionnait déjà à l'époque les effets à long terme de la suppression expressive, une technique de régulation des émotions consistant à supprimer l'expression de la réponse

émotionnelle. En effet, dans son étude, les participant·e·s utilisant la suppression expressive dans le cadre du visionnage d'un matériel émotionnel montrant des procédures médicales explicites – comparativement à ceux utilisant la réévaluation cognitive ou bien le groupe contrôle – présentaient une activation physiologique plus importante (amplitude cardiaque mesurée au doigt et l'intervalle cardiaque inter-pulsatile – ou *inter-beat interval* (IBI) en anglais – qui est la mesure du temps (généralement en millisecondes) entre chaque pulsation cardiaque). Si l'expression comportementale de la réponse émotionnelle était en effet diminuée, sur le long terme, la suppression de l'expression des émotions se révèle moins efficace pour réguler l'expression des émotions et les réponses physiologiques associées. Elle n'est d'ailleurs pas sans coût au niveau physiologique à court terme.

Toutefois, la suppression expressive n'est pas la seule technique de régulation des émotions à être considérée comme non-adaptative par la littérature. L'évitement ou encore la rumination mentale sont deux autres techniques qui ont été étudiées dans le cadre du lien entre les techniques de régulation dites dysfonctionnelles et les psychopathologies. La suppression expressive et l'évitement sont des aspects régulatoires bien connus de la littérature. Perçus comme des régulations non-adaptatives face à des situations élicitant du stress, ces techniques de régulation peuvent placer à risque au niveau du développement de troubles tels que l'anxiété ou la dépression, mais aussi des comportements non-adaptatifs tels que l'utilisation de substances (Carver et al., 1989) ou encore du *binge-eating* (Polivy & Herman, 2002), à savoir la consommation excessive de nourriture sur une courte période.

Du côté de la suppression expressive, le fait de supprimer des pensées associées à une expérience émotionnelle se révèle pour le moins inefficace. Celle-ci rend les cognitions associées à l'expérience plus accessibles au rappel, augmente la réponse physiologique émotionnelle et cause, de façon paradoxale, une augmentation des pensées négatives (Wenzlaff & Wegner, 2000).

L'évitement, quant à lui, peut survenir de deux façons : l'acquisition d'une peur au travers d'un conditionnement classique et, lorsque les personnes évitent les situations effrayantes, le maintien de cette peur au travers d'un conditionnement opérant. Bien que ce modèle soit majoritairement appliqué à l'anxiété, plusieurs auteur·rice·s l'ont étendu à des troubles tels que les attaques de panique (Lissek et al., 2009), le stress post-traumatique (Foa & Kozak, 1986), les phobies spécifiques (Merckelbach et al., 1996) ou encore l'agoraphobie (Rachman, 1993). Il est à noter que l'évitement de situations émotionnelles n'élicitant pas de la peur peuvent aussi avoir des liens avec des psychopathologies. Dans le cas de personnes en sevrage, l'évitement

du caractère désagréable de cet état passe par l'utilisation de la substance à l'origine du sevrage (Baker et al., 2004).

Enfin on retrouve aussi la rumination mentale, qui consiste à se focaliser de façon répétitive sur l'expérience émotionnelle, ainsi que ses causes et conséquences (Watkins, 2008). La rumination mentale, dans un contexte de détresse, semble interférer avec le bon déroulement de la résolution des problèmes là où la plupart des personnes rapportant utiliser la rumination mentale comme technique de régulation des émotions affirment l'utiliser dans le but de comprendre et résoudre leurs problèmes (Papageorgiou & Wells, 2003). Plusieurs études se sont penchées sur le lien entre la rumination mentale avec la dépression et l'anxiété, mais certaines études telles que celle de Nolen-Hoeksema et al. (2007) l'ont aussi reliée aux troubles alimentaires et de la boisson, dans le but d'échapper à la conscience de soi occasionnée par la rumination mentale (Heatherton & Baumeister, 1991).

Dans une méta-analyse portant sur le lien entre la régulation des émotions et les psychopathologies, Aldao et al. (2010) ont revu la littérature qui se penchait sur la régulation des émotions fonctionnelle (acceptation, réévaluation cognitive et résolution de problèmes), dysfonctionnelle (rumination mentale, évitement et suppression expressive) et les psychopathologies. Au travers de celle-ci, Aldao et al. (2010) ont mis en avant que les régulations non-adaptatives avaient tendance à être liées aux psychopathologies, alors que les régulations adaptatives avaient la tendance inverse. Plus précisément, certaines régulations non-adaptatives semblaient plus présentes dans certaines psychopathologies. La rumination présentait de grandes tailles d'effets avec la dépression et l'anxiété, mais aussi de petites tailles d'effet avec l'usage de substance et les troubles alimentaires. L'évitement quant à elle présentait de grandes tailles d'effets pour la dépression, de moyennes à grandes pour l'anxiété et moyennes pour l'usage de la substance et les troubles alimentaires. Au travers de ces liens, il ne semble pas surprenant que certains *patterns* au niveau de certaines techniques de régulation surviennent, notamment avec les troubles liés à l'humeur. *In fine*, Aldao et al. (2010) concluent que de façon générale, les stratégies non-adaptatives semblent plus fortement liées aux psychopathologies et que la compréhension des implications mutuelles permet d'ouvrir la porte à des prises en charge plus adaptées.

C'est dans cette perspective que Aldao et al. (2014) se sont intéressé·e·s aux effets de la thérapie cognitivo-comportementale (TCC) dans le cadre de troubles anxieux sociaux (TAS) sur les stratégies de régulation des émotions tant adaptatives que non-adaptatives. A l'aide d'un échantillon composé initialement de 71 participant·e·s (51 personnes ont répondu au *follow-up*,

tous les trois mois pendant un an après la fin de la phase de traitement), iels ont d'abord procédé à 8 sessions centrées autour de l'apprentissage cognitif des aspects des TAS et de la restructuration cognitive, suivies de 8 séances où les aspects cognitifs étaient toujours abordés mais où les participant·e·s étaient de plus en plus exposé·e·s à des situations *in vivo* (tant dans un milieu clinique que dans leur vie de tous les jours). Au début de chaque session y compris celles en *follow-up*, les participant·e·s ont évalué dans quelle mesure iels s'adonnaient à des techniques de régulation des émotions tant adaptatives que non-adaptatives, mais aussi dans quelle mesure iels étaient exposé·e·s à des situations stressantes socialement et comment est-ce qu'iels y avaient réagi.

Les résultats de l'étude d'Aldao et *al.* (2014) sont encourageants dans le sens où au fur et à mesure des sessions de TCC, une amélioration au niveau de l'utilisation de techniques de régulation des émotions adaptatives s'est observée. Plus précisément, les auteur·rice·s ont observé qu'à niveau de compétence égal (± 1 écart-type), les participant·e·s avaient tendance à utiliser plus efficacement les techniques adaptatives que non-adaptatives, bien qu'il y ait eu une période de « recherche » chez elleux leur permettant de trouver la technique adaptative qui leur convenait le mieux. Au niveau du *follow-up*, aucune différence significative n'a été observée avec la seconde phase de l'intervention cognitivo-comportementale, tendant à suggérer que celle-ci semble s'être ancrée chez elleux et que ses effets duraient. Ces résultats démontrent le caractère malléable et flexible des techniques de régulation des émotions utilisées tout en démontrant aussi l'effet bénéfique d'une intervention clinique dans le cadre de psychopathologies présentant un lien fort avec l'utilisation de techniques de régulation des émotions non-adaptatives. Cependant, Aldao et *al.* (2014) soulignent que vu que seulement 51 des 71 participant·e·s avaient contribué au *follow-up*, il fallait prendre leurs résultats avec précaution, car iels ont peut-être observé un *pattern* qui n'est pas réellement présent ou bien justement, un *pattern* pourrait ne pas avoir été observé au vu du manque de certaines données.

En conclusion, bien que les interventions cliniques telles que la TCC ou la psychoéducation puissent grandement contribuer à l'amélioration de l'utilisation de techniques de régulation des émotions dites adaptatives, celles-ci ne sont pas non plus sans failles. Il semble nécessaire de se tourner vers d'autres techniques afin de compléter non seulement l'arsenal d'intervention disponible au niveau de la régulation des émotions, mais aussi de peut-être mieux comprendre les implications de différentes structures cérébrales dans la régulation des émotions ainsi que les différents processus cognitifs y étant associés.

4) La stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS)

La stimulation transcrânienne par courant continu – ou tDCS – est une technique de neurostimulation qui présente l'avantage d'être non-invasive et qui a connu ses débuts durant la deuxième moitié du vingtième siècle, dans des expérimentations majoritairement menées sur des animaux (Nitsche & Fregni, 2007). Au travers d'un courant de faible intensité – entre un et deux milliampères – appliqué au moyen de deux électrodes imbibées d'une solution saline et posées sur le scalp, la tDCS permet de moduler l'excitabilité neuronale de la région cérébrale ciblée en fonction de la position des électrodes sur le scalp. Le courant délivré par les électrodes circule de l'anode, chargée positivement, vers la cathode, chargée négativement. En effet, l'avantage de cette technique de neurostimulation réside comme mentionné plus haut, dans son caractère non-invasif, mais aussi dans le fait que le courant administré par les deux électrodes n'induit pas de dépolarisation neuronale et donc pas de potentiel d'action, à l'instar de la stimulation magnétique transcrânienne. Ici, il s'agit d'une technique de neuromodulation : le faible courant induit une hyperexcitabilité de la membrane neuronale pour la zone corticale stimulée par l'anode, ainsi qu'une hypoexcitabilité pour celle stimulée par la cathode.

Plusieurs études sur la tDCS ont rapporté faciliter certaines tâches cognitives ainsi que des améliorations au niveau de la symptomatologie de psychopathologies et autres problèmes psychologiques. Parmi les effets notables au niveau psychopathologique, on note une amélioration du syndrome de stress post-traumatique, de la dépression, d'états d'anxiété (Hampstead et *al.*, 2016; Palm et *al.*, 2016 ; Heeren et *al.*, 2017; Mutz et *al.*, 2018; Ahmadizadeh et *al.*, 2019) alors que dans les fonctions cognitives, on remarque une augmentation des capacités attentionnelles et de la mémoire, pour n'en citer que deux (Miler et *al.*, 2017 ; Ke et *al.*, 2019).

4.1. Des effets mitigés de prime abord :

Cependant, les résultats mis en avant par certaines études se sont heurtés à des réductions de la taille de l'effet observé, voire des difficultés de réplication. Dans leur métanalyse portant sur l'effet de la tDCS du cortex préfrontal dorsolatéral (DLPFC) sur des populations saines et ayant des troubles psychopathologiques, Dedoncker et *al.* (2016) ont expliqué qu'une des raisons principales à ces différences de résultats était l'hétérogénéité des paramètres méthodologiques utilisés dans ces différentes études. Au travers de la revue de 61 articles, ils ont remarqué que bien que la tDCS anodale augmentait la rapidité de réponse chez les participant·e·s issu·e·s de la cohorte saine, cela n'augmentait pas nécessairement la précision/l'exactitude des réponses

fournies dans différentes tâches cognitives. Plus précisément, Dedoncker et *al.* (2016) remarquent que ces résultats pourraient être expliqués par plusieurs facteurs au niveau de la stimulation, mais aussi au niveau de la taille des échantillons, qui pourrait impacter l'estimation de la taille d'effet.

Concernant les paramètres de stimulation, la densité de courant de celle-ci (les mA délivrés sur une surface en cm²) peut être un facteur qui influence les résultats d'une session de tDCS. Additionnellement, iels ajoutent que la charge (la durée de la session multipliée par la densité de courant) pourrait elle aussi influencer les résultats. Dès lors, Dedoncker et *al.* (2016) suggèrent d'augmenter la densité de courant sans pour autant augmenter l'inconfort de la stimulation.

4.2. Effets sur la mémoire de travail :

Plus récemment, certaines études se sont heurtées à des résultats moins encourageants. Senkowski et *al.* (2022) ont réalisé une méタanalyse de 43 études portant sur les effets de la tDCS et de la tACS (stimulation transcrânienne à courant alternatif) sur la mémoire de travail. Parmi celles-ci, 32 études étaient centrées sur les effets de la tDCS sur la mémoire de travail. Ces dernières ont pour la plupart stimulé des zones préfrontales (majoritairement le DLPFC), certaines ont aussi stimulé des zones pariétales et deux se sont uniquement concentrées sur des zones pariétales.

Concernant les effets de la tDCS sur la mémoire de travail, parmi les 32 études, 23 se focalisaient sur les effets d'une session unique de tDCS et seules 17% de celles-ci ont rapporté un effet significatif. Parmi les 9 études se focalisant sur les effets de sessions multiples de tDCS, 78% de celles-ci ont rapporté un effet significatif sur la mémoire de travail qui est directement en lien avec la tDCS.

Les résultats de la métaanalyse de Senkowski et *al.* (2022) tendent à suggérer que les sessions multiples de tDCS semblent être plus efficaces au niveau de l'amélioration de la mémoire de travail. Additionnellement, plusieurs auteur·rice·s ont rapporté que les effets sur la mémoire de travail de multiples sessions de tDCS pouvaient être détectés plusieurs mois après celles-ci (Jones et *al.*, 2015 ; Au et *al.*, 2016 ; Ruf et *al.*, 2017).

4.3. Effets sur le contrôle inhibitoire :

Schroeder et *al.* (2020), quant à elleux, ont réalisé une métaanalyse sur le effets de la tDCS sur le contrôle inhibitoire sur base de 45 études. Leurs critères incluaient notamment des études se

focalisant sur la *Stop-Signal Task* (SST) ou encore la *Go/No-Go Task* (GNG), aussi bien dans des échantillons sains que cliniques (TDAH, dépression sévère, *binge-eating*, addiction, fibromyalgie ou encore obésité) et ciblant soit le cortex préfrontal dorsolatéral droit (rDLPFC) soit le gyrus frontal inférieur droit (rIFG).

De prime abord leur métanalyse trouve un effet certes petit ($g = 0.21$) mais significatif, de la tDCS du rIFG sur le contrôle inhibitoire, mais pas pour la tDCS du rDLPFC. Ces résultats semblent être en accord avec ceux obtenus par Stramaccia et al. (2015), dans leur étude sur l'effet différentiel de la tDCS du rIFG et du rDLPFC sur le contrôle inhibitoire. Plus précisément, Schroeder et al. (2020) trouvent un effet de 0.32 pour la SST et un effet de 0.1 pour la GNG. Toutefois, cela peut être expliqué par le fait qu'il y avait moins d'études utilisant la GNG, ce qui pourrait entraîner une sous-estimation de l'effet ou bien de négliger certains paramètres qui se révèlent être pertinents.

Additionnellement, il reste trois points d'intérêt à cette métanalyse. Le premier est qu'une part significative de la variance ($I^2 = 38\%$) peut être expliquée par la position des électrodes dans le montage tDCS, mais aussi par les tâches sélectionnées dans le *design* expérimental. Cela pourrait grandement expliquer les différences de résultats au sein des études menées sur le sujet. Le second est que, sur les 12 études présentes dans cette métanalyse évaluant les effets de la tDCS sur le contrôle inhibitoire dans une population clinique, aucune différence significative n'a été trouvée. Cela pourrait s'expliquer par le troisième point d'intérêt qui est que la plupart des études ne se sont focalisées que sur les sessions de tDCS uniques.

Cependant, à ce sujet, les résultats au sein des différentes études sont eux-mêmes mitigés. Dans une étude sur 8 semaines portant sur la stimulation du rIFG et de ses effet sur le contrôle inhibitoire dans une population ayant un trouble de l'usage de l'alcool, Witkiewitz et al. (2019) n'ont rapporté aucun effet de la tDCS. Des résultats similaires ont été rapporté sur les symptômes cliniques du TDAH chez des enfants (Westwood et al., 2019), alors qu'une amélioration significative des compétences dans le contrôle inhibitoire a été observée entre le groupe contrôle et le groupe expérimental après seulement deux sessions sur les quatre prévues dans une autre étude (Ditye et al., 2012).

4.4. Difficulté de réplication des résultats :

Toutes ces métanalyses tendent à souligner la difficulté de reproduire des résultats dans différents domaines cognitifs en ce qui concerne l'utilisation de la tDCS comme technique de neuromodulation non-invasive. Plus spécifiquement, la littérature se heurte à des difficultés

lorsqu'il s'agit de résultats liés à des *designs* expérimentaux examinant les effets de la tDCS dans des populations présentant des (psycho)pathologies.

Fregni et al. (2021) ont élaboré des *guidelines* pour l'utilisation de la tDCS ainsi qu'une métanalyse de grande envergure à ce sujet. Plus particulièrement, ils se sont penchés sur les effets de la tDCS dans le cadre de *designs* expérimentaux comprenant plus d'une session pour l'élaboration des *guidelines* puis, sur base de celles-ci, ont analysé plusieurs études comprenant une ou plusieurs sessions de tDCS explorant ses effets sur un aspect cognitif, moteur ou comportemental (douleur, langage, cognition, sphère motrice ou encore addiction) dans des populations ayant une (psycho)pathologie (TOC, douleur neuropathique, Parkinson, fibromyalgie, syndrome de Gilles de la Tourette, schizophrénie, dépression, épilepsie ou encore l'addiction à une drogue). Les auteurs concluent qu'il existe un effet certain de la tDCS sur la dépression, ainsi que des effets probables sur d'autres troubles tels que les TOCS, la schizophrénie ou encore l'alcoolisme.

L'avantage de cette métanalyse réside dans le fait qu'elle confère une vue d'ensemble portant sur plusieurs profils, d'une technique de neuromodulation non-invasive. Elle tente à la fois de déterminer la probabilité de l'apparition d'un effet sur base de plusieurs niveaux et de dresser des protocoles/*designs* expérimentaux dans le cadre de l'utilisation de la tDCS dans ces différents profils, le tout sur base d'une littérature extensive.

Pour Fregni et al. (2021), la tDCS est un outil de neuromodulation non-invasif présentant l'avantage d'être assez flexible dans son utilisation, mais aussi dans son coût et ayant peu voire aucune conséquence néfaste au-delà de légers inconforts dus à l'utilisation d'un courant électrique. Sur base de la littérature et dans une optique *evidence based*, ils ont pu créer des *guidelines* d'utilisation de la tDCS pour 9 profils neurologiques et psychiatriques (la douleur, Parkinson, les AVC, l'épilepsie, la dépression majeure, les TOC, le syndrome de Gilles de la Tourette, la schizophrénie et l'addiction aux drogues). Ces *guidelines* sont critiques, selon eux, car elles permettent d'évaluer les bénéfices potentiels dans une utilisation clinique.

Cependant, Fregni et al. (2021) se sont confrontés à certaines limitations liées aux méthodologies de chaque étude utilisée dans cette métanalyse. Des facteurs comme le positionnement des électrodes sur le scalp ou encore leur taille expliquent une certaine part de variabilité au niveau des résultats. Ces facteurs ne garantissent pas une distribution du courant comparable au sein des différentes études. Notons toutefois que l'utilisation de la HD-tDCS (stimulation transcrânienne par courant continu haute définition) pourrait être une solution

potentielle à cela car elle prend en compte la taille de la tête et les différentes formes de celle-ci. Additionnellement, la majorité des études revues n'étaient pas des essais randomisés contrôlés de classe I (voir Brainin et *al.* (2004) et Lefaucheur et *al.* (2014)).

Malgré toutes ces limitations, les auteur·rice·s concluent que la tDCS possède des bénéfices lorsqu'elle est utilisée dans la plupart des troubles et que les analyses quantitatives qu'iecls ont effectuées fournissent des mesures objectives de l'hétérogénéité des résultats et des biais de publication. Cependant ces éléments impactent grandement les résultats obtenus et ne permettent pas de conclure que la tDCS est un outil thérapeutique étant plus efficace que les opérations chirurgicales, les études comportementales ou bien pharmacologiques. Pour conclure, bien qu'il existe plusieurs recommandations dessus, il n'existe à l'heure actuelle pas de *consensus* sur comment investiguer l'hétérogénéité clinique au niveau des résultats obtenus dans le cadre de l'utilisation de la tDCS.

5) tDCS et régulation des émotions

Comme nous avons pu le constater jusqu'ici, les émotions sont une part importante de notre vie et l'utilisation de techniques de régulation de celles-ci, qu'elles soient fonctionnelles ou dysfonctionnelles, est inhérente à leur ressenti. Les techniques d'imagerie médicale se sont intéressées aux corrélats neuronaux impliquant des processus de régulation des émotions. Kim & Hamann (2007) se sont intéressé·e·s aux différentes structures cérébrales sous-jacentes aux processus de régulation des émotions au travers d'une imagerie par résonance magnétique fonctionnelle lors d'une tâche de régulation des émotions où des stimuli émotionnels leur étaient présentés aux participant·e·s au moyen d'images tant à valence positive que négative.

Les résultats trouvés par Kim & Hamann (2007) mettent en avant plusieurs structures cérébrales impliquées tant dans des mécanismes de régulation positive que négative. Des structures cérébrales telles que le cortex orbito frontal (OFC), des structures du cortex préfrontal (PFC) telles que le cortex préfrontal dorsolatéral (DLPFC), le cortex préfrontal médial dorsal (DMPFC), le cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) ainsi que le cortex cingulaire antérieur (ACC) ont démontré des activations lors des différentes tâches de régulation des émotions, aussi bien en fonction de la valence des stimuli émotionnels que des processus (*top-down* ou *bottom-up*) impliqués dans les mécanismes de régulation des émotions.

De façon assez intéressante, l'amygdale a été définie comme l'une des structures les plus critiques lorsqu'il s'agit de ressentir des émotions et plus particulièrement lorsqu'il s'agit d'émotions négatives (peur). Cette région du cerveau est connue pour permettre de détecter les stimuli émotionnels pertinents pour l'individu qui les ressent, ainsi que d'attribuer une signification émotionnelle à ces stimuli sensoriels (Ochsner & Gross, 2004). Bien que l'amygdale soit aussi critique dans l'apparition des émotions, c'est une zone cérébrale qui ne semble pas aussi impliquée que ça dans les processus de régulation des émotions. En effet, les structures préfrontales semblent quant à elles plutôt impliquées dans ceux-ci et inhiberaient l'activité de l'amygdale lors de la régulation des émotions.

L'amygdale possède peu de connexions avec la partie préfrontale du cerveau et il semblerait que celle-ci agisse sur elle au travers du ACC et du OFC. En effet, ces deux régions semblent impliquées dans la régulation des émotions et elles communiquent tant avec l'amygdale que les structures préfrontales (Ledoux, 2000). Au moyen de cette connexion, le PFC semblerait inhiber indirectement l'activité de l'amygdale (Ochsner & Gross, 2005).

Comme nous l'avons abordé dans le chapitre sur la régulation des émotions, la réévaluation cognitive est une technique qui vise à modifier les cognitions associées à une situation émotionnelle et à modifier la réponse émotionnelle avant qu'elle n'apparaisse ou bien lorsque celle-ci en est à ses balbutiements. Ochsner & Gross (2008) ont profité des avancées sur l'imagerie fonctionnelle des structures cérébrales impliquées dans la régulation des émotions afin de fournir une vision intégrative des avancées en neurosciences affectives tout en tenant compte de modèles comportementaux.

Ochsner & Gross (2008) soulignent que les composantes cognitives de la réévaluation doivent sous-tendre plusieurs structures cérébrales au vu de la complexité de la production et du maintien de son implémentation ainsi que du feedback que requiert cette technique. Durant une réévaluation cognitive, ils remarquent que les portions dorsales du PFC sont connues pour être impliquées dans la mémoire de travail et l'attention sélective, que les portions ventrales du PFC sont quant à elles connues pour leurs implications dans le langage ou l'inhibition de la réponse, que les portions dorsales du ACC sont connues pour être impliquées dans les processus de *monitoring* et de contrôle cognitif et que la portion dorsale du PFC médial implique une réflexion autour d'un état affectif, qu'il propre ou d'une autre personne. Ochsner & Gross (2008) remarquent que bien que ces structures soient pour la plupart impliquées dans plusieurs des aspects cognitifs de la réévaluation, leur présence varie d'une étude à une autre et qu'il est dès lors important de tenir compte de comment la réévaluation cognitive est opérationnalisée.

En conclusion certaines structures cérébrales, plus particulièrement préfrontales et cingulaires, semblent plus pertinentes que d'autres lorsqu'il s'agit de la réévaluation cognitive dans des tâches de régulation des émotions. En accord avec les avancées faites sur des techniques de neuromodulation non-invasives, nous avons décidé d'explorer la littérature analysant les effets de la tDCS d'une structure préfrontale sur la régulation des émotions.

5.1. Le cortex préfrontal dorsolatéral (DLPFC) :

En 2014, Feeser et *al.* réalisent une étude sur la tDCS anodale du DLPFC droit dans le but d'évaluer les effets de cette dernière lors de l'application de la réévaluation cognitive des stimuli émotionnels négatifs présentés lors de leur tâche de régulation. Leur étude utilise une évaluation subjective de l'intensité émotionnelle vécue ainsi qu'une mesure de la conductance de la peau afin de déterminer l'efficacité de la tDCS anodale. Feeser et *al.* (2014) se basent sur les résultats obtenus au cours des récentes années (Eippert et *al.*, 2007 ; Ochsner et *al.*, 2004, entre autres) afin de déterminer l'aire corticale privilégiée dans leur étude. En effet, selon ces auteur·rice·s,

le DLPFC serait impliqué dans les mécanismes d'augmentation ou de diminution de la réaction émotionnelle, dans le cadre d'émotions à valence négative.

Pour ce faire, iels ont utilisé 48 participant·e·s (25 femmes et 23 hommes) allant de 20 à 47 ans. L'étude s'est déroulée en double aveugle, en *between* et en utilisant un groupe contrôle. Les participant·e·s ont d'abord reçu un entraînement extensif sur l'utilisation de la réévaluation cognitive, avec des exemples sur celle-ci, avant de revenir 3 à 4 jours plus tard afin de se soumettre à la tâche de régulation. Celle-ci comprenait quatre conditions : diminuer des émotions négatives, augmenter des émotions négatives, maintenir des émotions négatives et maintenir des émotions neutres. Le matériel émotionnel était quant à lui composé de 24 images neutres et 72 images à valence négative issues de l'IAPS. Concernant la tDCS, celle-ci a été délivrée par une anode de 35cm² et une cathode de 100cm², avec une intensité de 1.5mA pendant 20 minutes. Au niveau du montage, l'anode a été systématiquement posée en F4 et la cathode sur la région supraorbitale gauche, à au moins 5cm de l'anode.

Les résultats qu'iels obtiennent semblent confirmer leur hypothèse, car iels observent une diminution de l'intensité subjective de la réponse émotionnelle dans la condition expérimentale « *down* » ainsi qu'une augmentation de l'intensité dans la condition « *up* ». Ces résultats sont aussi retrouvés dans la mesure de la conductance cutanée, supportant la mesure subjective de la réponse émotionnelle. Toutefois, Freeser et *al.* (2014) soulignent que le DLPFC n'est pas directement lié à l'amygdale et que de ce fait, le VMPFC, qui est directement connecté au DLPFC ainsi qu'à l'amygdale, pourrait être impliqué dans l'impact de la diminution de la réponse émotionnelle. Les auteur·rice·s concluent que leurs résultats semblent aller dans le sens d'un rôle important du DLPFC dans les mécanismes *top-down* impliqués dans la réévaluation cognitive de stimuli émotionnels, mais qu'au vu des limitations éprouvées, il serait nécessaire de répliquer leurs résultats et d'investiguer les différentes aires corticales que la littérature sait impliquées dans la régulation des émotions. Additionnellement, vu que cette étude ne portait que sur des stimuli négatifs, il serait intéressant de l'étendre aux stimuli positifs.

Aboulafia-Brakha et *al.* (2016), quant à elleux, ont évalué les effets la tDCS du DLPFC sur la flexibilité affective. Iels ont investigué les effets d'une stimulation anodale des deux hémisphères du DLPFC, dans une tâche impliquant de désengager ou d'engager l'attention de stimuli faciaux émotionnels ainsi que de stimuli faciaux de genre qui représentaient la condition non-émotionnelle de leur *design* expérimental. 21 hommes et 24 femmes allant de 19 à 52 ans ont participé à cette étude. Celle-ci était en simple aveugle et les participant·e·s ne devaient pas avoir d'antécédents psychiatriques ou neurologiques et avoir une vision soit normale, soit

corrigée. Chacun·e d'entre eux a été placé·e dans un des trois groupes suivants : stimulation anodale droite, stimulation anodale gauche ou *sham*.

Les participant·e·s ont été soumis·e·s à une tâche de désengagement émotionnel composée de 12 visages différents (6 hommes, 6 femmes ; 6 images de joie et 6 images de colère), basée sur le format GNG. Une partie de cette tâche était dédiée au genre, tandis que l'autre était dédiée aux émotions. Concernant les paramètres de la tDCS, les participant·e·s ont reçu une stimulation anodale via des électrodes de 35cm² délivrant un courant d'1.5mA pendant 25 minutes. Au niveau du montage, celui-ci était soit en F4/Fp1 soit en F3/Fp2.

Aboulafia-Brakha et *al.* (2016) ont obtenu des résultats significatifs lorsqu'il s'agissait de la tDCS du DLPFC droit, plus particulièrement lorsqu'il s'agissait de désengager l'attention de stimuli de genre après un stimuli émotionnel. A *contrario*, engager l'attention sur la condition émotionnelle était plus facile lorsque la tDCS était appliquée au DLPFC gauche. Dans les deux conditions de stimulation, le coût cognitif pour aller dans le sens opposé au niveau des conditions émotionnelles (engager pour le DLPFC droit et désengager pour le DLPFC gauche) était plus important. Les auteur·rice·s concluent que la tDCS du DLPFC semble moduler la flexibilité émotionnelle. Cependant, iels n'ont pas observé d'effet de la tDCS sur le jugement émotionnel, ce qui semble contredire les récentes études ayant mis en avant une diminution du temps de réponse, dans le cadre d'une stimulation anodale du DLPFC droit dans une tâche de reconnaissance émotionnelle (Willis et *al.*, 2015), bien que leur méthodologie expérimentale puisse être la cause de cette observation.

Hansenne & Weets (2020) ont observé les effets de la tDCS du DLPFC gauche dans un échantillon exclusivement composé de femmes, afin de limiter l'effet différentiel de genre associé aux réponses émotionnelles (Kring & Gordon, 1998). Dans leur étude, iels ont observé comment une tDCS du DLPFC gauche influençait non seulement la régulation d'émotions à valence négative mais aussi les émotions à valence positive. Pour ce faire, les auteur·rice·s ont recruté 40 participantes ($M = 22.2$ ans ; $SD = 2.93$) n'ayant pas d'antécédents psychiatriques ou neurologiques. De plus, iels ont utilisé les traits de la personnalité comme variable contrôle au travers de la version française du *Big Five Inventory* (BFI ; Plaisant et *al.*, 2008), puisque la littérature a démontré que l'impact modulatoire de la tDCS sur la régulation des émotions était plus important chez les personnes introverties qu'extraverties (Peña-Gomez et *al.*, 2011). Seuls les traits « extraversion » et « neuroticisme » ont été retenus pour cette étude-ci. Chaque participante était soit assignée au groupe *sham* soit au groupe stimulation anodale du DLPFC gauche.

La tâche de régulation des émotions, quant à elle, comprenait 42 images positives, 42 images négatives et 16 images neutres, issues de l'IAPS. Les images positives et négatives se sont vues assignées soit à la condition « augmenter » (pour les positives), soit à la condition « diminuer » (pour les négatives), soit à la condition « regarder ». La condition « regarder » tant pour les images positives que négatives, permet d'établir une ligne de base des émotions des participantes afin de pouvoir déterminer l'intensité « normale » de ces émotions. Les images neutres, quant à elle, n'étaient assignées qu'à la condition regarder. Afin de familiariser les participantes avec la technique de régulation, elles ont réalisé un entraînement avant la tâche expérimentale, qui comprenait 20 images sélectionnées de l'étude d'Hansenne et al. (2014). La tDCS délivrait un courant de 1.5mA pendant 25 minutes au travers d'une anode de 9cm² et d'une cathode de 25cm². Au niveau du montage, l'anode était posée en F3 et la cathode en Fp2.

Les résultats d'Hansenne & Weets (2020) sont en ligne avec ceux mis en avant par les études qui les ont précédés. Ces résultats suggèrent même la possibilité d'être étendus à la régulation d'émotions à valence positive. Ils concluent que la tDCS du DLPFC gauche augmente légèrement les compétences de régulation des émotions positives, mais que de façon générale, celle-ci augmente les capacités de régulation tant pour le matériel positif que négatif. Cet effet est surtout observable lorsque l'on prend en considération la ligne de base émotionnelle des participantes, obtenue au travers de la condition « regarder ».

Hansenne & Weets (2020) ajoutent que cette étude permet de confirmer et d'étendre les résultats de la littérature antérieure, mais soulignent qu'il serait nécessaire de répliquer ces résultats dans une expérience stimulant aussi bien le DLPFC gauche que droit ainsi que, au vu des récentes démonstrations, du VLPFC droit (Marques et al., 2018).

Néanmoins, deux études toutes aussi récentes portant sur la tDCS du DLPFC gauche ont obtenu des résultats très surprenants au regard du rôle de ce dernier dans la régulation des émotions. Dans leur étude Clarke, Van Bockstaele et al. (2020), ont tenté d'évaluer comment la tDCS du DLPFC gauche allait influencer l'évaluation de contenus aversifs lors de la régulation des émotions, la réduction des *patterns* d'attention biaisée face à l'information négative, ainsi que réduction de la réaction émotionnelle spontanée face à du contenu négatif.

80 femmes et 36 hommes ont participé à cette étude ($M_{age} = 23.03$; $SD = 7.43$). Les participant·e·s respectaient les critères d'éligibilité pour une tDCS, à savoir l'absence d'antécédent neurologique, d'appareils d'aide à l'audition, de migraines, d'évanouissements, d'opération du cerveau ou encore de conditions médicales au niveau de la peau. La tDCS

délivrait un courant de 2mA au travers d'électrodes 24cm² pendant 20 minutes. L'anode était posée en F3 tandis que la cathode était posée sur le trapèze supérieur gauche.

Concernant la tâche de régulation des émotions et de biais attentionnels, Clarke, Van Bockstaele et al. (2020) ont utilisé 60 images à valence négative issues de l'IAPS ; 48 ont été utilisées dans la tâche de régulation des émotions tandis que 12 images issues de la tâche de régulation des émotions ainsi que 12 images inédites ont été utilisées pour l'évaluation de biais attentionnels. Les conditions de régulation des émotions étaient soit de maintenir l'émotion, soit de la diminuer. Afin d'évaluer l'efficacité de la tâche de régulation des émotions, il était demandé aux participant·e·s d'évaluer l'intensité de l'émotion ressentie sur une échelle d'agréabilité allant de 1 (basse) à 9 (haute). Enfin, la tâche de réactivité émotionnelle était composée de 4 clips vidéo contenant un stimuli émotionnel à valence négative. Chacun des clips durait approximativement deux minutes et à l'issue de chaque visionnage, il était demandé aux participant·e·s de les noter sur une ligne de 12cm allant de « Content·e-Relaxé·e » à « Triste-Anxieux·se ».

Clarke, Van Bockstaele et al. (2020) n'ont pas obtenu d'effet significatif concernant la diminution de l'évaluation de contenus aversifs ainsi qu'aucune preuve d'interaction entre la tDCS et la régulation des émotions dans le cadre de la stimulation du DLPFC gauche. Iels expliquent que cette absence d'effet pourrait être expliquée par la variance entre les conditions due au *design between* de l'étude. Cependant, au vu de la taille de leur échantillon et du fait que plusieurs études en *between* préalables à celle-ci avaient obtenu des résultats avec une tDCS du DLPFC concernant les biais attentionnel, il est possible que cela ne soit pas un des facteurs prépondérants dans l'absence d'effet.

Par ailleurs, Clarke, Van Bockstaele et al. (2020) pensent que cette absence d'effet peut en partie s'expliquer par la complexité de compréhension de la valence émotionnelle des images issues de l'IAPS, signifiant peut-être que celle-ci était moins vite intégrée. Une autre raison de cette absence d'effet, selon elleux, pourrait être liée à l'intensité du stimuli délivré au travers de la tDCS.

Clarke, Haridas et al. (2020), ont de leur côté tenté d'évaluer les effets de la tDCS et de la régulation des émotions négatives sur les biais interprétatifs. En faisant cela, iels ont tenté d'évaluer le rôle potentiel de biais interprétatifs dans le cadre la réactivité émotionnelle lors d'une tDCS ainsi que le rôle de la régulation des émotions comme agent modérateur. Leur échantillon était composé de 79 participant·e·s (54 femmes et 25 hommes) allant de 18 à 50 ans

($M = 23.15$; $SD = 6.77$). La tDCS délivrait un courant de 2mA/minute au travers d'électrodes 24cm² pendant 20 minutes. L'anode était posée en F3 tandis que la cathode était posée sur le trapèze supérieur gauche.

La tâche de régulation des émotions consistait à soit diminuer l'émotion ou à la maintenir. Le matériel émotionnel était composé de 48 images de l'IAPS (24 à éveil élevé et 24 à éveil bas). La tâche évaluant les biais interprétatifs était une tâche qui avait été précédemment utilisée dans une étude de Clifton et *al.* (2016), où 52 homographes (par ex. « ARMS »), chacun associés avec : soit un mot lié et menaçant (par ex. « WEAPONS), soit un mot lié et inoffensif (par ex. « LEGS »), soit un mot sans rapport et menaçant (par ex. « GREEDY »), soit un mot sans rapport et inoffensif (par ex. « TROUSERS »). Enfin la tâche de réactivité émotionnelle était composée de 4 clips vidéo contenant un stimuli émotionnel à valence négative. Ces 4 clips vidéo étaient présentés l'un à la suite de l'autre pendant 8 minutes et 26 secondes.

Clarke, Haridas et *al.* (2020) ont observé un effet certes petit mais significatif, dans la condition expérimentale, comparativement à la condition placebo, au niveau de la réactivité émotionnelle face aux stimuli négatifs. Plus spécifiquement, les personnes recevant la tDCS semblaient moins réactives que celles dans la stimulation *sham*. Toutefois, aucune interaction entre la condition de stimulation et de régulation n'a été observée, ce qui semble assez surprenant. En effet, cela tend à signifier que la tDCS n'améliore pas la capacité à diminuer la réactivité émotionnelle face au contenu négatif, ce qui contredit Feeser et *al.* (2014), ayant démontré que la tDCS augmente les effets de la régulation des émotions délibérée.

Ces deux études reconnaissent qu'il puisse exister une différence importante au niveau de la méthodologie de toutes les précédentes études démontrant des effets significatifs, et que cette dernière pourrait être une des raisons expliquant des résultats si disparates. De plus, comme Brunoni et *al.* (2016) ont pu le mettre en évidence au travers de leur métanalyse, il est possible que des facteurs individuels tels qu'une dépression résistante aux traitements, par exemple, puissent contribuer de façon significative aux résultats mitigés face à la tDCS. A cela s'ajoute aussi le fait que l'utilisation de la stimulation cathodale de façon controlatérale puisse contribuer de façon significative à manifester un effet induit par la tDCS sur la régulation des émotions ou sur l'évaluation de stimuli émotionnels. Enfin, l'absence de mesures basales dans les biais d'interprétation ou dans la régulation des émotions pourrait de fait contribuer à la non-apparition d'effets significatifs dans ces deux conditions expérimentales.

5.2. La pertinence du DLPFC dans la régulation des émotions :

En 2018, Marques et *al.* ont, au travers de deux expériences, examiné les effets de la tDCS du DLPFC et du VLPFC sur la réévaluation cognitive dans le cadre d'une stimulation émotionnelle à valence négative à éveil élevé. Contrairement à l'étude de Feeser et *al.* (2014), Marques et *al.* (2018) ont préféré utiliser une mesure de la réponse physiologique induite par la réponse émotionnelle en tenant compte de l'intervalle cardiaque inter-pulsatile.

Dans les conditions de stimulation du DLPFC, lorsqu'il était demandé d'augmenter ou de diminuer la réponse émotionnelle, les auteur·rice·s ont obtenu des valeurs inter-pulsatiles plus réduites que dans la condition de maintien, ce qui tend à suggérer que les participant·e·s étaient plus sollicité·e·s cognitivement lors des tâches de réévaluation cognitive. Dans les conditions de stimulations du VLPFC, peu importe la tâche cognitive demandée, les valeurs inter-pulsatiles des stimulations anodales gauches et droites du VLPFC semblaient suggérer une plus grande sollicitation cognitive que dans la condition placebo. Toutefois, la stimulation anodale gauche semble induire une plus grande mobilisation des ressources cognitives, ce qui pourrait suggérer une efficacité plus importante de la tDCS du VLPFC gauche.

De façon générale, iels concluent que les résultats au niveau de la tDCS du DLPFC ne démontrent pas d'effets significatifs sur la régulation des émotions, ce qui semble contraire aux résultats qui avaient été précédemment obtenus. De plus, iels obtiennent des résultats suggérant un rôle dans la modulation des émotions à valence négative du VLPFC gauche, bien qu'un tel effet n'ait pas été observé dans la stimulation anodale du VLPFC droit, et qu'il serait intéressant de mener des études ultérieures afin d'explorer le rôle du VLPFC dans la sphère émotionnelle. Marques et *al.* (2018) postulent que les résultats obtenus concernant le DLPFC pourraient être dus à des différences méthodologiques et qu'il serait nécessaire de standardiser les conditions de passation afin d'obtenir des résultats robustes.

Jusqu'à présent, la plupart de la littérature suggérait que le DLPFC, plus particulièrement gauche, semblait impliqué de façon significative dans les mécanismes de régulation des émotions. Les résultats de Marques et *al.* (2018) semblent, quant à eux, encourager l'exploration du rôle du VLPFC dans ces mêmes mécanismes.

5.3 Le cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) :

Afin de mieux comprendre le rôle du VLPFC, Weintraub-Brevda (2017) a réalisé une dissertation se focalisant sur le rôle du VLPFC dans la mémoire émotionnelle en utilisant la

stimulation magnétique transcrânienne (TMS) et la tDCS. Dans son introduction, elle aborde le rôle du VLPFC dans la cognition de façon plus générale, afin de comprendre comment ce dernier pourrait impacter la mémoire émotionnelle. Certaines études ont mis en avant le rôle que le VLPFC jouait dans l'encodage profond, dans l'orientation attentionnelle exogène vers des stimuli saillants ainsi que l'inhibition (Levy & Wagner, 2011 ; Rubia et al. 1999 ; Kaladjian et al., 2007), ce qui signifie que le VLPFC semblerait grandement impliqué dans les processus de réorientation attentionnelle de stimuli saillants.

Autrement dit, le VLPFC pourrait jouer un rôle important dans le contrôle cognitif qu'on pourrait typiquement retrouver dans des tâches de régulation des émotions. L'autrice poursuit en abordant l'effet différentiel qui serait présent entre les deux hémisphères du VLPFC, avançant que le VLPFC gauche agirait comme un buffer attentionnel afin de surmonter les distractions émotionnelles, alors que le VLPFC droit serait plutôt, quant à lui, impliqué dans l'encodage de stimuli négatifs, et donc jouerait un rôle conséquent dans la mémoire émotionnelle à long terme.

He et al. (2018) ont, quant à eux, évalué l'effet de la tDCS du VLPFC droit sur la régulation des émotions dans le cadre de l'exclusion sociale sur deux expériences différentes. Dans leur étude, ils ont soumis à des participant·e·s 72 images d'exclusion sociale mettant en scène un·e rejeté·e ainsi qu'un groupe de personnes étant les rejeteur·euse·s. Ces images représentent les stimuli émotionnels où les participant·e·s doivent appliquer soit une consigne de régulation des émotions – variant d'une expérience à l'autre – soit aucune. Chaque condition liée à la régulation des émotions était donc composée de 36 images. Chacune des deux expériences a démontré un effet significatif de la tDCS du VLPFC droit sur les capacités de régulation des émotions. Leurs résultats semblent être concordants avec l'idée que le VLPFC droit soit plus impliqué dans l'encodage de stimuli négatifs (Weintraub-Brevda, 2017) et que de façon plus générale, le VLPFC joue un rôle important dans la réorientation attentionnelle. En effet, He et al. (2018) ont remarqué qu'en condition de régulation des émotions, les participant·e·s orientaient beaucoup plus leur regard vers les personnes rejetées que sur les rejeteur·euse·s.

Toujours en 2018, Vergallito et al. se sont intéressé·e·s à la tDCS du VLPFC droit sur un échantillon composé de 96 participant·e·s, ainsi qu'aux effets de cette dernière sur la régulation d'émotions à valence négative afin de déterminer quelles émotions négatives peuvent ou non être régulées avec la tDCS. Ceci a été fait au travers de la visualisation de cinq extraits de films, supposés évaluer huit *clusters* émotionnels (colère, joie, anxiété, tristesse, peur, dégoût, surprise et chaleur – dans le sens « gentillesse » –), dans deux conditions expérimentales différentes

(tDCS vs *sham*), Vergallito et *al.* (2018) ont pu observer un effet significatif de la stimulation anodale du VLPFC droit au niveau de la modulation d'émotions à valence négative. Plus particulièrement au niveau de l'anxiété et de la peur, avec un léger effet pour la tristesse.

Toutefois, iels soulignent dans leurs limitations que bien que le champ électrique induit par la tDCS était bel et bien plus intense au niveau des aires latérales et ventrales du cortex préfrontal, ce champ s'approchait aussi du DLPFC. Cela pourrait induire des biais potentiels les empêchant de conclure sur un rôle sélectif du VLPFC droit dans la régulation des émotions, bien que les résultats obtenus par leur étude postulent bel et bien pour un effet significatif de la tDCS du VLPFC droit dans le cadre de la régulation des émotions.

Enfin, He et *al.* ont mené en 2019 une étude sur les effets de la tDCS du VLPFC droit sur la régulation des émotions chez des participant·e·s sujet·te·s à la dépression dans le cadre de stimuli émotionnels associés à l'exclusion sociale. Leur étude, en ligne avec celle qu'iels avaient menée en 2018, examine cette fois-ci les effets de la tDCS sur un échantillon présentant des affects dépressifs, pouvant donc mettre en avant un effet différentiel de la tDCS entre des participant·e·s sain·e·s et des participant·e·s dépressif·ve·s. He et *al.* (2019) ont obtenu des résultats très similaires à ceux obtenus en 2018 au niveau de l'activation physiologique – plus particulièrement le diamètre des pupilles – et supportant le fait qu'en condition de régulation des émotions, les participant·e·s orientaient beaucoup plus leur regard vers les personnes rejeté·e·s que sur les rejeteur·reuse·s, soulignant le rôle important dans la réorientation attentionnelle du VLPFC.

Au niveau des résultats de la tDCS, cependant, ceux-ci sont plus mitigés pour les personnes présentant des affects dépressifs élevés (ADE). Cela est congruent avec les résultats obtenus dans la littérature actuelle concernant une certaine résistance des personnes présentant des ADE face à la tDCS. Cette absence d'effet pourrait être attribuée au fait que les personnes avec des ADE semblent présenter un seuil d'activation émotionnelle face à l'exclusion sociale plus bas que celles avec des affects dépressifs bas (ADB).

De plus, selon le modèle cognitif de la dépression de Beck (Beck & Bredemeier, 2016), les personnes avec des ADE tendent à penser et raisonner avec des biais négatifs, concernant leur auto-évaluation ainsi qu'une augmentation des attentes négatives liées à l'expérience. De fait, la tDCS pourrait ne pas constituer une méthode d'intervention acceptable pour les personnes avec des ADE, selon He et *al.* (2019). Toutefois, pour les personnes avec des ADB, les résultats

sont assez significatifs que pour pouvoir attribuer un rôle à la tDCS du VLPFC droit sur la régulation des émotions de stimuli négatifs à caractère social.

6) Buts et hypothèses

Sur base de la littérature explorée, il semble possible d'affirmer que le VLPFC joue un rôle plus pertinent que le DLPFC dans les mécanismes de contrôle cognitif impliquant la régulation des émotions. Cependant, les études actuelles portant sur les effets de la tDCS sur la régulation des émotions semblent être plutôt mitigées. Tantôt encourageantes, tantôt difficilement répliques, la tendance semble pointer vers des tailles d'effets petites voire inexistantes. De plus, comme le souligne la métanalyse de Dedoncker et *al.* (2016), les résultats se révèlent souvent difficilement répliques à cause d'une variabilité importante des méthodologies employées.

La plupart des études abordées ici, hormis celle d'Hansenne & Weets (2020) ainsi que celle de Vergallito et *al.* (2018), se sont focalisées sur la modulation de contenu émotionnel à valence négative. Ceci semble assez limitant car à l'heure actuelle, il existe très peu de données sur l'effet de la tDCS sur la régulation de contenu émotionnel à valence positive. Il serait dès lors intéressant d'explorer les effets de la tDCS du VLPFC face à une tâche de régulation des émotions présentant des stimuli tant à valence positive que négative. De plus, explorer l'effet différentiel interhémisphérique sur la réponse face à la tDCS du VLPFC semblerait tout aussi intéressant. En effet, cela nous permettrait de peut-être mieux comprendre le rôle de chaque portion du VLPFC dans les processus impliqués lors de la réévaluation cognitive de contenu émotionnel.

Dès lors, l'hypothèse posée serait que les participant·e·s recevant une stimulation active présenteront de meilleures compétences de régulation des émotions que celleux se trouvant dans le groupe *sham*. Plus précisément, il est attendu que les participant·e·s recevant une stimulation anodale de la portion gauche du VLPFC présenteront de meilleures compétences de régulation des émotions positives alors que celleux recevant une stimulation anodale de la portion droite du VLPFC présenteront de meilleures compétences de régulation des émotions négatives. Afin de prendre en compte les différences au niveau des stratégies de régulation des émotions mises en place chez chaque individu, il serait intéressant de contrôler celles-ci au moyen d'un dispositif d'évaluation tel qu'un questionnaire. Ces données, en tant que covariables, pourraient expliquer la variabilité au niveau des capacités chez chaque sujet.

7) Méthodologie

7.1. Participant·e·s :

48 personnes ont participé à l'expérience (24 femmes et 24 hommes) afin de s'assurer de l'homogénéité de l'échantillon et seules des personnes entre 20 et 29 ans ont été incluses (femmes : $M = 24.625$ $SD = 2.018$; hommes $M = 25.500$ $SD = 2.085$) dans le but d'éviter de potentiels biais liés à la différence d'âge.

Concernant les critères d'exclusion de l'étude, et au vu de la littérature actuelle, il avait été décidé au préalable d'exclure les personnes ayant des antécédents neurologiques, psychiatriques ou ayant une dépression sévère.

Sur base d'une puissance de 0.80 et pour une taille d'effet de 0.50, la taille de l'échantillon pour une interaction entre le groupe de stimulation et les conditions était de 33 sujets (GPower 3.1.9.7).

7.2. Mesures auto-reportées :

Le jour de la passation de la tâche, les participant·e·s ont dû remplir l'ERQ (*Emotion Regulation Questionnaire*) (Gross & John, 2003), un questionnaire comportant 10 items se présentant sous la forme d'une échelle de Likert à 7 points. L'ERQ évalue les stratégies de régulation des émotions mises en place chez l'individu sur base de deux stratégies : la réévaluation cognitive et la suppression expressive.

Les participant·e·s avaient pour consigne de remplir de questionnaire en accord avec leur ressenti sur les six derniers mois lorsqu'iels étaient confronté·e·s à une situation émotionnelle.

7.3. Matériel, tâche et procédure :

Dans la continuité de l'étude d'Hansenne et Weets (2020), les participant·e·s ont été amené·e·s à visionner des images censées provoquer une réponse émotionnelle positive, négative ou neutre. Dans ce cas-ci, iels ont visionné 30 images positives, 30 images négatives et 15 images neutres, toutes issues de l'IAPS, pour un total de 75 images.

Au vu du rôle du VLPFC, il a été choisi de se focaliser sur la réévaluation cognitive conformément au modèle processuel de Gross & Thompson (2007). Dans l'optique de ne pas faire déplacer les participant·e·s deux fois sur le lieu d'évaluation, un lien Google Forms leur était envoyé avant la passation de la tâche et ce afin de leur permettre de se familiariser avec la technique de régulation des émotions. Ce dernier était une version abrégée de la tâche qui leur

serait soumise le jour de la session de tDCS. Composé de 9 images (3 positives, 3 négatives et 3 neutres) issues de l’OASIS (*Open Affective Standardized Image Set*, Kurdi et al., 2017), le matériel se présentait sous la forme de neuf vidéos de 12 secondes chacune, présentant une croix de fixation pendant 2 secondes, une consigne de régulation des émotions pendant 2 secondes et une image à caractère émotionnel pendant 8 secondes. A l’issu de visionnage, il leur était demandé d’évaluer l’intensité de l’émotion sur une échelle de Likert allant de 1 (pas très fort) à 8 (très fort). Plus précisément, il a été demandé aux participant·e·s d’augmenter leur ressenti émotionnel lors du visionnage de deux images positives, de diminuer leur ressenti émotionnel lors du visionnage de deux images négatives ou de simplement regarder pour les trois images neutres ainsi qu’une image positive et une image négative.

Lorsqu’il leur était demandé d’augmenter leur ressenti émotionnel les participant·e·s avaient comme consigne de se rapprocher le plus possible émotionnellement de l’image, en s’y projetant seul·e·s ou avec des proches. Lorsqu’il leur était demandé de diminuer leur ressenti émotionnel, les participant·e·s avaient cette fois-ci comme consigne de se distancer le plus possible émotionnellement de l’image, avec des pensées telles que « C’est truqué/C’est une mise-en-scène/C’est photoshopé/Ce sont des mannequins/Ce sont des acteur·rice·s ». Enfin, lorsqu’il leur était demandé de regarder, iels avaient comme consigne de simplement regarder l’image et de ressentir l’émotion comme elle leur venait.

Le matériel présenté lors des sessions de tDCS, quant à lui, se composait de 15 images positives avec pour consigne d’augmenter le ressenti émotionnel lors du visionnage, 15 images positives avec pour consigne de regarder l’image afin de constituer une mesure basale de leur réponse face au contenu positif, 15 images neutres avec pour consigne de regarder, 15 images négatives avec pour consigne de diminuer le ressenti émotionnel lors du visionnage et enfin, 15 images négatives avec pour consigne de regarder afin d’ici aussi constituer une mesure basale de leur réponse face au contenu négatif.

Les consignes de régulation des émotions ont aléatoirement été appliquées aux images sur base de leur valence émotionnelle – par exemple, parmi les 30 images positives, 15 images ont aléatoirement été sélectionnées pour recevoir la consigne « Regarder » et 15 autres images pour recevoir la consigne « Augmenter ». Après l’attribution d’une consigne à chaque image, leur ordre a été randomisé à l’aide de la fonction « =RAND() » d’Excel. Ceci a été fait dans le but d’éviter tout biais de la part de l’expérimentateur·rice. Les participant·e·s ont donc tou·te·s visionné les images dans le même ordre et avec les mêmes instructions concernant la consigne de régulation des émotions à appliquer.

Enfin, concernant la procédure de passation en elle-même, un rappel des consignes a d'abord été projeté sur l'écran. Une fois lu, les participant·e·s appuyaient sur la barre espace du clavier afin de lancer la tâche. Hormis pour la première image, iels étaient amené·e·s à voir une croix de fixation sur l'écran pendant une durée variant de 2000ms à 3200ms afin d'éviter un effet d'habituation. L'image était ensuite projetée pendant une durée de 10 secondes avec l'une des trois consignes de régulation des émotions directement appliquée dessus (augmenter/regarder/diminuer). A l'issue de cette projection, les participant·e·s avaient 5 secondes pour répondre à une échelle de Likert allant de 1 à 8 à l'aide du *numpad* du clavier, leur demandant d'évaluer l'intensité de l'émotion ressentie lors du visionnage.

7.4. tDCS :

Au vu de la littérature explorée et des hypothèses formulées, deux montages de stimulation active ont été utilisés. Le premier groupe se voyait assigné à une stimulation anodale de la portion gauche du VLPFC, avec l'anode placée en F7 et la cathode en Fp2, à savoir sur l'aire contralatérale supraorbitale selon le système EEG 10/20. Le second groupe se voyait quant à lui assigné à une stimulation anodale de la portion droite du VLPFC, avec l'anode placée en F8 et la cathode en Fp1. Enfin, le troisième groupe se voyait assigné à une stimulation *sham*. La position des électrodes étant peu pertinentes dans ce groupe-ci, elles étaient placées en F7 et F8.

La stimulation active a consisté en l'application d'un courant constant de 2mA pendant la durée de la tâche, à savoir environ 20 minutes, avec 30 secondes de *fade-in* et de *fade-out*, à l'aide de deux électrodes imbibées de solution saline et ayant une taille de 35cm². Le groupe *sham* ne recevait quant à lui une stimulation active que pendant 30 secondes puis elle se coupait pendant la durée de toute la tâche afin d'induire une sensation de stimulation sans pour autant qu'il n'y en ait une.

7.5. Statistiques

Les données démographiques (âge et genre) ont d'abord été contrôlées afin de s'assurer qu'elles ne variaient pas significativement au sein des différents groupes expérimentaux. Une ANOVA simple a d'abord été réalisée pour l'âge, suivie d'un Khi-Carré pour le genre. Ensuite, deux ANOVA simples ont été réalisées afin de s'assurer que les scores de l'ERQ ne variaient pas de façon significative au sein des différents groupes.

Une ANOVA factorielle 3 (groupes expérimentaux : F7/Fp2, F8/Fp1 et *sham*) x 5 (conditions : regarder positif, augmenter positif, regarder neutre, regarder négatif et diminuer négatif) a été

réalisée afin de tester l'effet du groupe expérimental sur la condition de régulation des émotions. L'homogénéité des variances a été vérifiée avec le test de Levene. Pour cette ANOVA, le facteur intra-sujet était la performance de chaque participant·e à la tâche de régulation, obtenue au travers des scores subjectifs de l'intensité émotionnelle au sein de chaque condition de régulation. Le facteur inter-sujet, quant à lui, était le groupe expérimental dans lequel chaque participant·e se trouvait. Les scores obtenus à l'ERQ avaient été introduits comme co-variables dans un premier temps, mais puisque ceux-ci n'ont pas modifié les résultats de manière significative, ils ont été retirés de l'ANOVA afin de ne pas inutilement alourdir les résultats. Enfin, afin de s'assurer que la condition de régulation a bien été comprise, un test post-hoc a été réalisé.

Une ANOVA à mesures répétées a ensuite été réalisée sur base des scores de différences entre la condition « regarder » (positif et négatif) et la condition de régulation (augmenter pour le matériel positif et diminuer pour le matériel négatif), dans le but comparer les effets de la consigne de régulation des émotions sur les réponses subjectives de chaque participant·e. De plus, utiliser des scores de différences permet de quantifier la performance avec et sans la mise en place de consigne de régulation des émotions.

Les statistiques ont toutes été réalisées à l'aide de JASP (0.16.3).

8) Résultats

8.1. Données démographiques :

Nous avons d'abord voulu vérifier qu'aucune différence significative au niveau de l'âge n'existait entre les différents groupes.

	Age		
	F7/Fp2	F8/Fp1	Contrôle
Mean	25.813	25.000	24.375
Std. Deviation	1.834	2.422	1.784
Minimum	22.000	22.000	22.000
Maximum	29.000	29.000	28.000

Tableau 1. Description de l'âge au sein des différents groupes expérimentaux

Pour ce faire, nous avons réalisé une ANOVA simple en utilisant l'âge comme variable dépendante (tableau 1). Cette analyse s'est montrée non-significative ($F = 2.009$; $p = 0.146$), indiquant que la distribution de l'âge au sein des différents groupes est équivalente.

Genre	Groupe			Total
	F7/Fp2	F8/Fp1	Contrôle	
Femme	4	10	10	24
Homme	12	6	6	24
Total	16	16	16	48

Tableau 2. Table de la distribution du genre au sein des différents groupes

Nous avons ensuite voulu nous assurer qu'il n'existait pas de différence significative au niveau du genre au sein des différents groupes. Pour ce faire, nous avons réalisé un Khi-Carré en utilisant le genre et le groupe comme variables (tableau 2). Le résultat s'avère être significatif ($\chi^2 = 6.000$; $p = 0.050$), suggérant une distribution inégale au niveau du genre.

8.2. ERQ :

Afin de s'assurer que les scores de l'ERQ étaient équivalents au sein des différents groupes, deux ANOVA simples ont été réalisées.

8.2.1. Suppression expressive :

La première ANOVA simple a été réalisée en utilisant le score de la suppression expressive comme variable dépendante (tableau 3). Cette analyse s'est montrée non-significative ($F =$

0.228 ; $p = 0.797$) indiquant que les scores pour la suppression expressive ne diffèrent pas entre chaque groupe.

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Groupe	0.787	2	0.393	0.228	0.797
Residuals	77.724	45	1.727		

Note. Type III Sum of Squares

Tableau 3. ANOVA simple portant sur la suppression expressive

8.2.2. Réévaluation cognitive :

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Groupe	1.444	2	0.722	0.705	0.500
Residuals	46.104	45	1.025		

Note. Type III Sum of Squares

Tableau 4. ANOVA simple portant sur la réévaluation cognitive

La seconde ANOVA, quant à elle, a été réalisée en utilisant le score de la réévaluation cognitive comme variable dépendante (tableau 4). Cette analyse s'est elle aussi montrée non-significative ($F = 0.705$; $p = 0.500$) suggérant que les scores pour la réévaluation cognitive ne diffèrent pas entre chaque groupe.

8.3. Effet de la tDCS sur la régulation des émotions :

8.3.1. Analyse des conditions de régulation :

Afin de vérifier l'effet de la tDCS sur la régulation des émotions, nous avons réalisé une ANOVA factorielle 3 (groupes de stimulation : F7/Fp2, F8/Fp1, sham) x 5 (conditions de régulation des émotions : regarder positive, augmenter positive, regarder neutre, regarder négative et diminuer négative) à mesures répétées, en *within-between*. Les scores d'intensité subjective de l'émotion ressentie ont été obtenus au travers de la somme de chaque item composant chaque consigne de régulation des émotions.

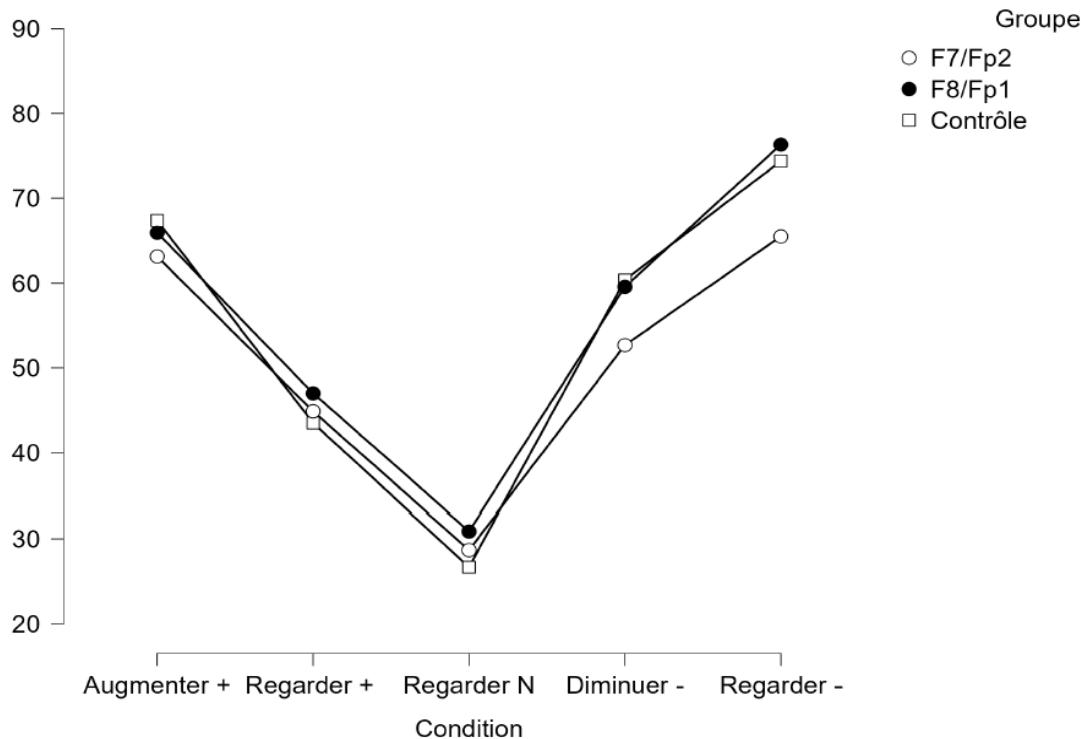


Tableau 5. Plots descriptifs des scores subjectifs moyens par groupe en fonction des conditions

Puisque le test de sphéricité le Mauchly s'avère être significatif ($W = 0.341$; $p < 0.001$), la sphéricité est violée. Afin de tester l'effet de l'ANOVA, nous avons décidé d'utiliser l'indice de correction de Greenhouse-Geisser et de ne prendre en compte que les valeurs obtenues au travers de celui-ci.

Cas	Sphericity Correction	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	p	η^2
Condition	None	56960.625 ^a	4.000 ^a	14240.156 ^a	144.013 ^a	< .001 ^a	0.544
	Greenhouse-Geisser	56960.625	2.731	20858.943	144.013	< .001	0.544
Condition * Groupe	None	984.775 ^a	8.000 ^a	123.097 ^a	1.245 ^a	0.275 ^a	0.009
	Greenhouse-Geisser	984.775	5.462	180.312	1.245	0.290	0.009
Residuals	None	17798.600	180.000	98.881			
	Greenhouse-Geisser	17798.600	122.884	144.841			

Note. Somme des carrés de type III

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Tableau 6. Résultats en within de l'ANOVA 3x5 à mesures répétées

Nous pouvons observer (tableau 6) qu'il existe un effet principal de la condition ($F = 144.013$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.544$), signifiant que les sujets ont jugé les items de façon significativement différente en fonction de la consigne de régulation des émotions qui leur était donnée.

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2
Groupe	1039.058	2	519.529	0.838	0.439	0.010
Residuals	27900.525	45	620.012			

Note. Type III Sum of Squares

Tableau 7. Résultats en between de l'ANOVA 3x5 à mesures répétées

Nous pouvons constater ici (tableau 7) qu'il n'existe pas d'effet principal au niveau du groupe, les résultats étant non-significatifs. Ce même constat s'applique aussi à l'interaction entre la consigne de régulation des émotions et le groupe de stimulation.

8.3.2. Test post-hoc:

Sur base de l'ANOVA réalisée précédemment, des comparaisons multiples en utilisant l'indice de correction de Holm ont été réalisées. Ces comparaisons multiples ont porté sur la consigne afin de vérifier que celle-ci avait bien fonctionné.

		Mean Difference	ES	t	Cohen's d	p _{holm}
Augmenter +	Regarder +	20.354	2.030	10.028	1.428	< .001
	Regarder N	36.729	2.030	18.095	2.577	< .001
	Diminuer -	7.938	2.030	3.911	0.557	< .001
	Regarder -	-6.583	2.030	-3.243	-0.462	0.001
Regarder +	Regarder N	16.375	2.030	8.067	1.149	< .001
	Diminuer -	-12.417	2.030	-6.117	-0.871	< .001
	Regarder -	-26.938	2.030	-13.271	-1.890	< .001
Regarder N	Diminuer -	-28.792	2.030	-14.185	-2.020	< .001
	Regarder -	-43.313	2.030	-21.338	-3.039	< .001
Diminuer -	Regarder -	-14.521	2.030	-7.154	-1.019	< .001

Note. Les résultats sont moyennés sur les niveaux de: Groupe

Note. P-value adjusted for comparing a family of 10

Tableau 8. Résultats des comparaisons multiples sur la condition

La comparaison des conditions « Augmenter + » et « Regarder + » (tableau 8) met en évidence une différence significative ($t = 10.028$; $p_{holm} < 0.001$; $d = 1.428$), signifiant que les participant·e·s sont parvenu·e·s à respecter la consigne d'augmenter les émotions positives. La comparaison des conditions « Diminuer - » et « Regarder - » (tableau 8) met en évidence une différence significative ($t = -7.154$; $p_{holm} < 0.001$; $d = -1.019$) signifiant que les participant·e·s sont parvenu·e·s à respecter la consigne de diminuer les émotions négatives.

8.3.3. Analyse des scores de différences :

Une ANOVA factorielle à mesures répétées a été réalisée dans le but d'explorer les effets de la consigne de régulation des émotions sur les réponses subjectives de chaque participant·e. Afin de faire cela, un score de différence a été calculé pour chaque participant·e entre les consignes « Augmenter + » et « Regarder + ». Un autre score de différence a été calculé pour chaque participant·e entre les consignes « Diminuer - » et « Regarder - ».

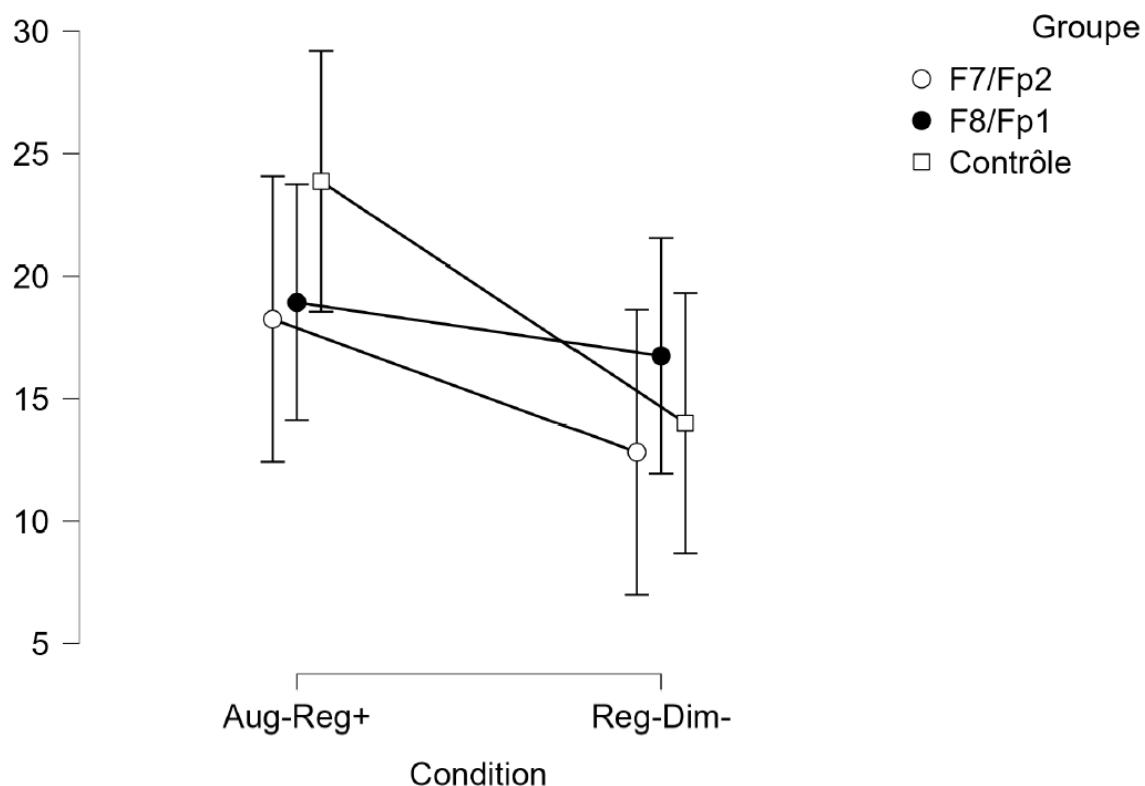


Tableau 9. Plots descriptifs des scores de différences en fonction de la condition et du groupe

Nous pouvons observer (tableau 10) qu'il existe un effet principal de la condition ($F = 8.150$; $p < 0.006$), indiquant que les sujets ont jugé les items de façon significativement différente en fonction de la consigne de régulation des émotions qui leur était donnée et ce, peu importe le groupe.

Cas	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	p
Condition	816.667	1	816.667	8.150	0.006
Condition * Groupe	238.271	2	119.135	1.189	0.314
Residuals	4509.063	45	100.201		

Note. Somme des carrés de type III

Tableau 10. Résultats en within de l'ANOVA à mesures répétées portant sur les scores de différences

Nous pouvons observer (tableau 11) qu'il n'existe pas d'effet principal au niveau du groupe, les résultats étant non-significatifs ($F = 0.685$; $p = 0.509$). Ce même constat s'applique aussi à l'interaction entre la condition de régulation des émotions et le groupe de stimulation ($F = 1.189$; $p = 0.314$).

Cas	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	p
Groupe	193.563	2	96.781	0.685	0.509
Residuals	6358.063	45	141.290		

Note. Somme des carrés de type III

Tableau 11. Résultats en between de l'ANOVA à mesures répétées portant sur les scores de différences

9) Discussion

Cette étude présentait deux buts. Le premier était de tester l'effet de la tDCS sur la régulation des émotions. Comme cela a été abordé à plusieurs reprises dans ce travail, la tDCS semble être une technique de neuromodulation non-invasive ayant un intérêt dans l'amélioration de plusieurs fonctions cognitives, dont la régulation des émotions. Cependant, si certains résultats sont bel et bien significatifs, la plupart présentent des effets faibles et au vu des récentes métanalyses, il est dès lors nécessaire de rester prudent·e·s face à ceux-ci tout en continuant d'alimenter les connaissances sur le sujet.

Le second était de tester l'effet différentiel interhémisphérique du VLPFC, lors d'une tDCS, sur la régulation des émotions. Plusieurs études (Davidson, 1995 ; Davidson et *al.*, 2002 ; Ochsner et *al.*, 2004) ont mis en avant des *patterns* de latéralisation au niveau du traitement des émotions. Ceux-ci suggèrent que l'hémisphère gauche traiterait préférentiellement l'information émotionnelle positive et que l'hémisphère droit traiterait préférentiellement l'information émotionnelle négative.

A cet effet, une étude portant sur l'effet de la tDCS du VLPFC sur la régulation des émotions a été réalisée en recrutant 48 participant·e·s, réparti·e·s au sein de trois groupes expérimentaux. La tâche de régulation des émotions et la présence d'un groupe recevant une stimulation *sham* permettaient de vérifier la présence d'un effet de la tDCS sur la régulation des émotions, tandis que la présence de deux groupes recevant une stimulation anodale soit en F7, soit en F8 permettait de vérifier la présence d'un effet interhémisphérique. L'ajout de l'ERQ comme co-variable permettait de vérifier que chaque participant·e possédait des compétences de régulation des émotions comparables à celles des autres, auquel cas, cela aurait pu contribuer à expliquer la variabilité au niveau des résultats.

L'ANOVA factorielle 3x5 à mesures répétées ne s'est pas révélée significative. Aucune interaction significative entre la condition et le groupe n'a pu être observée en *within* et aucun effet de groupe n'a été détecté en *between*.

Puisqu'aucune de ces analyses n'était significative, et qu'un effet de la condition avait été constaté (cfr. 8.3.1), nous avons décidé de réaliser des comparaisons multiples en post-hoc afin de nous assurer que celui-ci résultait bien de la compréhension des consignes à appliquer par les participant·e·s en fonction de la condition de régulation dans laquelle iels se trouvaient. Celles-ci se sont révélées l'être, puisque les résultats des comparaisons entre « Augmenter + »

et « Regarder + » ainsi que ceux pour « Diminuer - » et « Regarder - » étaient significatifs (cf. 8.3.2.).

Additionnellement, nous avons cherché à vérifier qu'il n'existait pas de différence au niveau de la performance à la tâche qui pourrait être imputée à la tDCS, au travers d'une ANOVA à mesures répétée utilisant les scores de différences entre les conditions « Regarder -/+ » et « Diminuer/Augmenter » de chaque participant·e. A l'instar de la première ANOVA à mesures répétées, celle-ci a mis en avant un effet de la condition de régulation des émotions. Cependant, tout comme celle-ci, aucune interaction entre la consigne et le groupe n'a été détectée et aucun effet de groupe n'a été mis en avant.

9.1. Pistes explicatives

Bien qu'il soit décevant de ne pas déceler d'effet de la tDCS du VLPFC sur la régulation des émotions, ces résultats ne sont pas pour autant moins intéressants. En effet ces derniers s'alignent sur de nombreuses études qui ne parviennent pas à répliquer des effets de la tDCS dans divers domaines.

Concernant l'absence d'effet de la tDCS, plusieurs éléments pourraient – en partie – expliquer les résultats obtenus.

Comme plusieurs métanalyses le soulignent, des facteurs tels que l'intensité du courant utilisé, la densité de courant délivré ou encore la position des électrodes jouent un rôle important (Dedoncker et *al.*, 2016, Zhang et *al.*, 2022) dans l'apparition d'effets significatifs. Si de tels facteurs ont été – nous l'espérons – pris en compte dans la présente étude, il n'est pas possible d'affirmer, au vu des résultats obtenus, que ceux-ci étaient les paramètres optimaux.

La plupart des études sur le sujet utilisent des électrodes allant de 25 à 35cm², délivrant un courant de 2mA pendant une vingtaine de minutes, quarante maximum. La taille des électrodes ne semble à priori ne pas être en cause ici, puisqu'il est admis que de plus petites électrodes entraînent une densité de courant moins importante que de plus grandes et donc un effet moins important de la tDCS sur la région stimulée. Toutefois, il pourrait être intéressant d'utiliser de multiples petites électrodes afin de maximiser la précision, contrairement à une seule grande électrode (Kidgell et *al.*, 2013). Les montages possédant de multiples électrodes n'ont rien de novateur, car c'est déjà ce qui est utilisé dans le cadre de la tDCS haute-définition (HD-tDCS).

L'intensité du courant, elle, peut être un facteur plus significatif. Tout comme pour la taille des électrodes, il est admis que l'intensité du courant utilisé influence la probabilité d'un effet ; plus

l'intensité est grande et plus l'effet sera grand. Cependant Kidgell et *al.* (2013) ont mis en avant qu'entre 0.8mA et 1.2mA, l'effet de la tDCS n'était pas significativement plus grand. Il est possible dès lors, au vu des résultats obtenus dans cette étude-ci, que 2mA ne soit pas l'intensité optimale afin de voir apparaître un effet de la tDCS. De plus, To et *al.* (2016) suggèrent que des courants d'intensité plus élevée pourraient induire l'effet inverse de celui désiré.

Toutefois, si l'on prend en compte l'intensité du courant délivré, en plus de la taille de l'électrode le délivrant, nous rentrons les aspects liés à la densité de courant délivré dans la zone stimulée. Pour une même intensité, plus l'électrode sera grande et plus la densité du courant le sera aussi. Bien que cela soit positif et généralement recherché, il est possible qu'un seuil critique soit atteint et qu'il faille utiliser une intensité plus petite avec des électrodes de 35cm² ou bien garder la même intensité et réduire la taille de l'électrode afin de réduire la densité (To et *al.*, 2016).

La position des électrodes semble aussi être un facteur important. Si la plupart des études utilisent une stimulation bipolaire, c'est-à-dire avec les deux électrodes sur le scalp, il est possible que ce montage ne convienne pas dans le cadre d'une stimulation du VLPFC. Vieira et *al.* (2020) suggèrent que l'aire controlatérale supraorbitale, comme utilisée dans cette étude, ne soit pas l'aire la plus appropriée lorsqu'il s'agit d'évaluer l'effet de la tDCS dans le cadre d'une réévaluation cognitive. Néanmoins, il est aussi possible que le placement des électrodes dans cette étude ne soit pas le plus optimal car il n'y a pas une distance assez grande entre les deux électrodes. Plusieurs études (Wagner et *al.*, 2007 ; Thair et *al.*, 2017) suggèrent qu'une distance minimale de 8cm entre les électrodes, lorsque celles-ci font 35cm², soit respectée afin de garantir des effets optimaux.

Horvath et *al.* (2014) mettaient déjà en garde face à quelques paramètres difficilement contrôlables et différents de ceux mentionnés plus haut. Parmi ceux-ci, et qui semblent les plus pertinents dans le cadre de cette étude, se retrouvent la variabilité inter-sujets, la fiabilité intra-sujet et l'interférence cognitive et motrice.

Concernant la variabilité inter-sujets, plusieurs études (Nitsche & Paulus, 2001 ; Nitsche et *al.*, 2004a ; Nitsche et *al.*, 2004b ; Fricke et *al.*, 2011, Tremblay et *al.*, 2013) mettent en avant une variabilité significative aussi bien en *within* qu'en *between* au niveau des groupes. Si un groupe peut présenter une augmentation de 93.2% du potentiel moteur évoqué 5 minutes après une tDCS le second peut quant à lui présenter une augmentation de 9.2% de ce même potentiel (Fricke et *al.*, 2011). Au sein d'un même groupe, un·e participant·e peut quant à ellui présenter

une augmentation de 295% du potentiel moteur évoqué alors qu'un·e autre peut présenter une augmentation de seulement 5% (Nitsche & Paulus, 2001), voire une diminution de 41% (Tremblay et al., 2013).

Cette variabilité peut notamment s'expliquer au travers du fait que l'efficacité de la tDCS dépend de facteurs individuels tels que la neurophysiologie de l'participant·e, son anatomie ou encore son état psychologique. D'autres éléments tels que l'épaisseur du crâne, le gras subcutané, la densité du liquide cérébrospinal ou encore la topographie de la surface corticale peuvent eux aussi impacter le courant électrique délivré ou bien sa densité (Datta et al., 2012 ; Truong et al., 2013).

Concernant la fidélité intra-sujet, dans la présente étude, il est difficile de l'évaluer car celle-ci ne possédait qu'une session unique de tDCS permettant d'évaluer ses effets sur la régulation des émotions. Plusieurs études questionnent les effets d'une session unique de tDCS sur les fonctions cognitives (Jones et al., 2015 ; Au et al., 2016 ; Ruf et al., 2017 ; Senkowski et al., 2022) ou bien sur des (psycho)pathologies et tendent même à suggérer que de multiples sessions de tDCS démontreraient des effets plus importants sur celles-ci.

Dans une revue systématique portant sur les effets de la tDCS dans le cadre de troubles psychiatriques, Kekic et al. (2016) ont mis en avant des résultats encourageants pour la dépression majeure, là où d'autres semblaient plus catégoriques. Des résultats sur celle-ci peuvent être observés après cinq sessions de tDCS (Fregni et al., 2006a ; Fregni et al., 2006b) ou bien après 10 sessions de tDCS du DLPFC gauche (Boggio et al., 2008a). Une amélioration significative du score de la BDI et de la HRSD (*Hamilton Rating Scale for Depression*) ont été observés et semblaient persister sur la longueur. Toujours dans cette revue systématique, 10 sessions de tDCS sur des personnes schizophrènes ont produit des résultats encourageants, réduisant significativement leurs hallucinations autivo-verbales (Brunelin et al., 2012a). Toutefois, tout comme Fregni et al. (2021), Kekic et al. (2016) concluent que la tDCS présente un certain intérêt dans l'amélioration d'un état lié à une (psycho)pathologie, mais que les précautions d'usage liées à l'interprétation des résultats liés à la tDCS ou encore les différents aspects méthodologiques pouvant entraîner une variabilité au niveau des résultats sont de rigueur.

L'interférence cognitive et motrice peut potentiellement expliquer une absence d'effet, toujours selon Horvath et al. (2014). Certaines études (Antal et al., 2007 ; Brandnam et al., 2010 ; Miyaguchi et al., 2013) suggèrent qu'une activité cognitive ou motrice pourrait

significativement impacter l'efficacité de la tDCS et diminuer l'apparition des effets recherchés de celle-ci. Cependant, contrôler des aspects cognitifs ou moteurs lors de sessions de tDCS peut se révéler compliqué, bien que cela puisse remettre en perspective les tailles d'effets allant de petites à modestes, des *designs* expérimentaux explorant les effets de la tDCS sur les fonctions cognitives utilisés jusqu'ici.

Enfin, l'un des derniers points pouvant impacter les effets de la tDCS sur la régulation des émotions est un élément qui a été mentionné par Fregni et *al.* (2021) dans leur méタanalyse. La position ou la taille des électrodes sont des variables qui ont été standardisées au travers des différentes études qu'ils ont revues. Cependant, au vu des différences de taille ou de formes au niveau de la tête des participant·e·s, il est difficile de garantir une distribution du courant équivalente entre les différent·e·s participant·e·s d'une étude. Une solution à cela pourrait se trouver dans la HD-tDCS, qui prend en compte ces différents facteurs.

Comme mentionné plus haut, la HD-tDCS est une tDCS utilisant un montage avec de multiples électrodes. Celles-ci se présentent sous la forme de petits « anneaux » posé sur la zone d'intérêt et sur laquelle un électrogel est appliqué afin d'assurer la conduction du courant entre l'électrode et la peau. Le montage se présente généralement en 4 x 1, c'est-à-dire 4 électrodes de retour placées autour d'une électrode qui délivre le courant. Kuo et *al.* (2012) ont comparé l'effet d'une tDCS conventionnelle (électrodes de 35cm² avec une intensité de 2mA) à celle d'une HD-tDCS (surface de contact de 25±2.5mm² et intensité de 2mA) et bien que la surface totale stimulée soit plus petite, la HD-tDCS semble présenter des effets plus importants tant sur le moment de la stimulation que, sur le long terme (jusqu'à 6h après la stimulation). L'avantage de la HD-tDCS sur la tDCS conventionnelle réside dans le fait qu'elle cible la distribution du courant électrique dans une zone plus concentrée que la tDCS conventionnelle (Kuo et *al.*, 2012).

Une autre piste permettant d'expliquer l'absence d'effet pourrait être celle du matériel émotionnel utilisé.

Dans cette étude, 75 images issues de l'IAPS avaient été sélectionnées afin de stimuler les participant·e·s dans la tâche de régulation des émotions. Bien que l'IAPS soit une banque d'images à caractère émotionnel largement utilisée et qu'elle n'a plus à faire ses preuves, elle n'est pas sans failles.

Parmi celles-ci, la qualité des images dépassée pour les écrans modernes a été mentionnée par certaines auteur·rice·s (Zamora et *al.*, 2020) et pourrait introduire des facteurs non-contrôlés

dans le design expérimental (Marchewka et *al.*, 2014). De plus, d'autres éléments composant l'image peuvent jouer un rôle dans la réceptivité de la personne face à celle-ci. Les images de l'IAPS n'ont pas toutes un format identique, que ce soit au niveau de la taille ou de la forme. Cela pose problème car les propriétés d'une image comme sa taille ou sa forme vont influencer sa luminance ainsi que sa complexité. Cela influence la façon dont le stimuli visuel va être traité (Marchewka et *al.*, 2014 ; Rozovskaya et *al.*, 2016). Wiens et *al.* (2011) vont même jusqu'à mettre en évidence que les aspects non-émotionnels d'une image peuvent supprimer de façon prématuée une réponse émotionnelle électro-corticale lorsque celle-ci présente une valence émotionnelle négative.

9.2. Limites et perspectives :

Cette étude n'est pas sans limites au niveau méthodologique.

Premièrement, une session unique afin d'évaluer les effets de la tDCS sur les fonctions cognitives ne semble *a priori* pas être le design le plus efficace pour détecter des effets significatifs (Fregni et *al.*, 2021 ; Senkowski et *al.*, 2022). D'abord parce que les tailles d'effets détectés, lorsqu'il y en a, se révèlent être modestes. Mais aussi parce que les résultats obtenus au travers de multiples sessions de tDCS sont plus robustes.

La seconde limite éprouvée au cours de cette étude a déjà été mentionnée dans les pistes pouvant expliquer une absence d'effet. Le matériel émotionnel utilisé provenant de l'IAPS semble présenter quelques inconvénients au niveau de la qualité de l'image, qui peuvent impacter la réponse émotionnelle chez les participant·e·s. Plusieurs d'entre eux ont rapporté, lors du debriefing après la tâche expérimentale, avoir eu des difficultés à résonner avec le contenu qui leur était présenté, notamment à cause du grain présent dans les images qui leur donnait un côté « vieillot ». Ceci semble rejoindre le constat effectué par Marchewka et *al.* (2014) ainsi que Rozovskaya et *al.* (2016), suggérant que les aspects non-émotionnels d'une image peuvent altérer la survenue d'une réponse émotionnelle.

Troisièmement, la performance des participant·e·s à la tâche a été mesurée au travers de mesures subjectives de l'intensité de la réponse émotionnelle. De telles mesures, quand bien même les participant·e·s semblent avoir compris les consignes à appliquer à chaque condition de régulation des émotions (cfr. 8.3.3.), ne permettent pas de déterminer avec exactitude l'intensité de l'émotion ressentie. L'enregistrement de changements physiologiques comme la conductance de la peau ou bien l'intervalle cardiaque inter-pulsatile auraient pu être des mesures permettant de préciser encore plus la réponse émotionnel chez chaque participant·e.

Quatrièmement, si les compétences au niveau de la régulation des émotions ont été prises en compte, certaines études ont mis en avant l'impact modulatoire de la personnalité sur la présence d'un effet de la tDCS (Peña-Gomez et al., 2011 ; Hansenne & Weets, 2020). Au plus une personne présente un score d'introversion élevé, au plus elle est sensible aux effets de la tDCS. L'absence de questionnaire ou tout autre outil permettant d'évaluer la personnalité sur le continuum « extraversion-introversion » est une omission d'un facteur non-négligeable dans l'apparition d'un effet.

Enfin concernant les perspectives, il serait intéressant d'intégrer au design expérimental les différentes pistes pouvant expliquer l'absence d'effet, ainsi que les limites de la présente étude. De multiples sessions de tDCS pourraient fournir des résultats plus robustes au niveau de la régulation des émotions et contrôler des facteurs comme l'homogénéité de la distribution du courant, la personnalité ou encore des mesures d'activité physiologique. Additionnellement, utiliser un matériel émotionnel autre que celui de l'IAPS, tel que le *Nencki Affective Picture System* (NAPS, Marchewka et al., 2014), permettrait d'obtenir des stimuli émotionnels avec des propriétés physiques n'interférant pas avec l'apparition de la réponse émotionnelle.

10) Conclusion

Que ce soit quant à l'effet de la tDCS sur la régulation des émotions ou bien l'effet interhémisphérique du VLPFC, lors d'une tDCS, sur la régulation des émotions, les résultats obtenus à l'issue de cette étude ne permettent pas de conclure à la présence d'un effet significatif.

De prime abord, la tDCS semble présenter des applications cliniques ou expérimentales quant à l'amélioration de fonctions cognitives, de l'état lié à une (psycho)pathologie ou encore de certains aspects comportementaux liés à ces mêmes (psycho)pathologies. Si certaines études semblent rapporter des résultats encourageants, ces derniers se révèlent au final être difficilement reproductibles et teintés par les effets de différents facteurs n'ayant pas été pris en compte dans la méthodologie initiale.

Cependant, le tableau n'est pas aussi pessimiste qu'il puisse le paraître. Bien que cette étude se soit heurtée à une absence d'effet, elle permet néanmoins de questionner la méthodologie typiquement utilisée lors d'expérience cherchant à tester l'effet de la tDCS sur la régulation des émotions.

Il semble dès lors nécessaire de fournir des efforts allant dans le sens de l'amélioration des connaissances de la littérature sur les mécanismes sous-jacents à cette technique de neurostimulation non-invasive.

Bibliographie

- Aboulafia-Brakha, T., Manuel, A. L., & Ptak, R. (2016). Prefrontal transcranial direct current stimulation facilitates affective flexibility. *Neuropsychologia*, 86, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.030>
- Ahmadizadeh, M. J., Rezaei, M., & Fitzgerald, P. B. (2019). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for post-traumatic stress disorder (PTSD): A randomized, double-blinded, controlled trial. *Brain Research Bulletin*, 153, 273–278. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2019.09.011>
- Aldao, A., Jazaieri, H., Goldin, P. R., & Gross, J. J. (2014). Adaptive and maladaptive emotion regulation strategies: Interactive effects during CBT for social anxiety disorder. *Journal of Anxiety Disorders*, 28(4), 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2014.03.005>
- Aldao, A., Nolen-Hoeksema, S., & Schweizer, S. (2010). Emotion-regulation strategies across psychopathology: A meta-analytic review. *Clinical Psychology Review*, 30(2), 217–237. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.11.004>
- Andrade, E. B., & Cohen, J. B. (2007). On the Consumption of Negative Feelings. *Journal of Consumer Research*, 34(3), 283–300. <https://doi.org/10.1086/519498>
- Antal, A., Terney, D., Poreisz, C., & Paulus, W. (2007). Towards unravelling task-related modulations of neuroplastic changes induced in the human motor cortex. *European Journal of Neuroscience*, 26(9), 2687–2691. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05896.x>
- Au, J., Katz, B., Buschkuhl, M., Bunarjo, K., Senger, T., Zabel, C., Jaeggi, S. M., & Jonides, J. (2016). Enhancing Working Memory Training with Transcranial Direct Current Stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(9), 1419–1432. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00979
- Augustine, A. A., Hemenover, S. H., Larsen, R. J., & Shulman, T. E. (2010). Composition and consistency of the desired affective state: The role of personality and motivation. *Motivation and Emotion*, 34(2), 133–143. <https://doi.org/10.1007/s11031-010-9162-0>
- Baker, T. B., Piper, M. E., McCarthy, D. E., Majeskie, M. R., & Fiore, M. C. (2004). Addiction Motivation Reformulated: An Affective Processing Model of Negative Reinforcement. *Psychological Review*, 111(1), 33–51. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.111.1.33>
- Beck, A. T., & Bredemeier, K. (2016). A Unified Model of Depression. *Clinical Psychological Science*, 4(4), 596–619. <https://doi.org/10.1177/2167702616628523>

Beck, A. T., Steer, R. A., Ball, R., & Ranieri, W. F. (1996). Comparison of Beck Depression Inventories-IA and-II in Psychiatric Outpatients. *Journal of Personality Assessment*, 67(3), 588–597. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6703_13

Borkovec, T. D., Alcaine, O. M., & Behar, E. (2004). Avoidance Theory of Worry and Generalized Anxiety Disorder. In R. G. Heimberg, C. L. Turk, & D. S. Mennin (Eds.), *Generalized anxiety disorder: Advances in research and practice* (pp. 77–108). The Guilford Press.

Bowlby, J. (1969). Attachment. *Attachment and loss* (Vol. 1.). New York, NY: Basic Books.

Bradnam, L. V., Stinear, C. M., Lewis, G. N., & Byblow, W. D. (2010). Task-Dependent Modulation of Inputs to Proximal Upper Limb Following Transcranial Direct Current Stimulation of Primary Motor Cortex. *Journal of Neurophysiology*, 103(5), 2382–2389. <https://doi.org/10.1152/jn.01046.2009>

Brainin, M., Barnes, M., Baron, J.-C. ., Gilhus, N. E., Hughes, R., Selmaj, K., & Waldemar, G. (2004). Guidance for the preparation of neurological management guidelines by EFNS scientific task forces - revised recommendations 2004*. *European Journal of Neurology*, 11(9), 577–581. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2004.00867.x>

Brunelin, J., Mondino, M., Gassab, L., Haesebaert, F., Gaha, L., Suaud-Chagny, M.-F., Saoud, M., Mechri, A., & Poulet, E. (2012). Examining Transcranial Direct-Current Stimulation (tDCS) as a Treatment for Hallucinations in Schizophrenia. *American Journal of Psychiatry*, 169(7), 719–724. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.11071091>

Brunoni, A., Moffa, A., Fregni, F., Palm, U., Padberg, F., Blumberger, D., . . . Loo, C. (2016). Transcranial direct current stimulation for acute major depressive episodes: Meta-analysis of individual patient data. *British Journal of Psychiatry*, 208(6), 522-531. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.115.164715>

Bushman, B. J. (2002). Does venting anger feed or extinguish the flame? Catharsis, rumination, distraction, anger and aggressive responding. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 28(6), 724–731. <https://doi.org/10.1177/0146167202289002>

Carver, C. S., Scheier, M. F., & Weintraub, J. K. (1989). Assessing coping strategies: A theoretically based approach. *Journal of Personality and Social Psychology*, 56(2), 267–283. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.56.2.267>

Clarke, P. J. F., Haridas, S. M. P., Van Bockstaele, B., Chen, N. T. M., Salemink, E., & Notebaert, L. (2020). Frontal tDCS and Emotional Reactivity to Negative Content: Examining the Roles of Biased Interpretation and Emotion Regulation. *Cognitive Therapy and Research*, 45(1), 19–30. <https://doi.org/10.1007/s10608-020-10162-9>

Clarke, P. J. F., Van Bockstaele, B., Marinovic, W., Howell, J. A., Boyes, M. E., & Notebaert, L. (2020). The effects of left DLPFC tDCS on emotion regulation, biased attention, and emotional reactivity to negative content. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 20(6), 1323–1335. <https://doi.org/10.3758/s13415-020-00840-2>

Clifton, J. L., Hedley, S., Mountier, E., Tiszai, B., & Grimshaw, G. M. (2016). Practice makes perfect: Training the interpretation of emotional ambiguity. *Cognition & Emotion*, 30(4), 654–668. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1020768>

Datta, A., Truong, D., Minhas, P., Parra, L. C., & Bikson, M. (2012). Inter-Individual Variation during Transcranial Direct Current Stimulation and Normalization of Dose Using MRI-Derived Computational Models. *Frontiers in Psychiatry*, 3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00091>

Davidson, R. J. (1995). Cerebral Asymmetry, Emotion, and Affective Style. In R. J. Donaldson, & K. Hugdahl (Eds.), *Brain Asymmetry* (pp. 361-387). Cambridge, MA: The MIT Press.

Davidson, R. J., Lewis, D. A., Alloy, L. B., Amaral, D. G., Bush, G., Cohen, J. D., Drevets, W. C., Farah, M. J., Kagan, J., McClelland, J. L., Nolen-Hoeksema, S., & Peterson, B. S. (2002). Neural and behavioral substrates of mood and mood regulation. *Biological Psychiatry*, 52(6), 478–502. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(02\)01458-0](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(02)01458-0)

Dedoncker, J., Brunoni, A. R., Baeken, C., & Vanderhasselt, M. A. (2016). A Systematic Review and Meta-Analysis of the Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Over the Dorsolateral Prefrontal Cortex in Healthy and Neuropsychiatric Samples: Influence of Stimulation Parameters. *Brain Stimulation*, 9(4), 501–517. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2016.04.006>

Ditye, T., Jacobson, L., Walsh, V., & Lavidor, M. (2012). Modulating behavioral inhibition by tDCS combined with cognitive training. *Experimental Brain Research*, 219(3), 363–368. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3098-4>

Eippert, F., Veit, R., Weiskopf, N., Erb, M., Birbaumer, N., & Anders, S. (2007). Regulation of emotional responses elicited by threat-related stimuli. *Human Brain Mapping*, 28(5), 409–423. <https://doi.org/10.1002/hbm.20291>

Foa, E. B., & Kozak, M. J. (1986). Emotional processing of fear: Exposure to corrective information. *Psychological Bulletin*, 99(1), 20–35. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.99.1.20>

Fregni, F., Boggio, P. S., Lima, M. C., Ferreira, M. J. L., Wagner, T., Rigonatti, S. P., Castro, A. W., Souza, D. R., Riberto, M., Freedman, S. D., Nitsche, M. A., & Pascual-Leone, A. (2006a). A sham-controlled, phase II trial of transcranial direct current stimulation for the treatment of central pain in traumatic spinal cord injury. *Pain*, 122(1), 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2006.02.023>

Fregni, F., Boggio, P. S., Nitsche, M. A., Rigonatti, S. P., & Pascual-Leone, A. (2006b). Cognitive effects of repeated sessions of transcranial direct current stimulation in patients with depression. *Depression and Anxiety*, 23(8), 482–484. <https://doi.org/10.1002/da.20201>

Fregni, F., El-Hagrassy, M. M., Pacheco-Barrios, K., Carvalho, S., Leite, J., Simis, M., Brunelin, J., Nakamura-Palacios, E. M., Marangolo, P., Venkatasubramanian, G., San-Juan, D., Caumo, W., Bikson, M., Brunoni, A. R., Cardenas-Rojas, A., Giannoni-Luza, S., Leao, J., Teixeira Leffa, D., Mejia-Pando, P. F., & Alejandra Luna-Cuadros, M. (2020). Evidence-Based Guidelines and Secondary Meta-Analysis for the Use of Transcranial Direct Current Stimulation in Neurological and Psychiatric Disorders. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 24(4), 256–313. <https://doi.org/10.1093/ijnp/pyaa051>

Frijda, N. H. (2008). The Psychologists' Point of Vue. In *Handbook of emotions* (3rd ed., pp. 68-87). The Guilford Press.

Fricke, K., Seeber, A. A., Thirugnanasambandam, N., Paulus, W., Nitsche, M. A., & Rothwell, J. C. (2011). Time course of the induction of homeostatic plasticity generated by repeated transcranial direct current stimulation of the human motor cortex. *Journal of Neurophysiology*, 105(3), 1141–1149. <https://doi.org/10.1152/jn.00608.2009>

Greene, J. D., Sedikides, C., Barbera, J. M., & Van Tongeren, D. R. (2012). Righteous anger and moral grandiosity. Unpublished manuscript.

Gross, J. J. (1998). Antecedent- and response-focused emotion regulation: Divergent consequences for experience, expression, and physiology. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(1), 224–237. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.1.224>

Gross, J. J. (2008). Emotion regulation. In *Handbook of emotions* (3rd ed., pp. 497-512). The Guilford Press.

Gross, J. J., & John, O. P. (2003). Individual differences in two emotion regulation processes: Implications for affect, relationships, and well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 85(2), 348–362. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.85.2.348>

Gross, J. J., & Levenson, R. W. (1993). Emotional suppression: Physiology, self-report, and expressive behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 64(6), 970–986. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.64.6.970>

Gross, J. J., Richards, J. M., & John, O. P. (2006). Emotion Regulation in Everyday Life. In D. K. Snyder, J. Simpson, & J. N. Hughes (Eds.), *Emotion regulation in couples and families: Pathways to dysfunction and health* (pp. 13–35). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/11468-001>

Gross, J. J., Thompson, R. (2006). Emotion Regulation: Conceptual Foundations. In *Handbook of Emotion Regulation* (First ed., pp. 3–27). The Guilford Press.

Hansenne, M., Nelis, D., Feyers, D., Salmon, E., & Majerus, S. (2014). Better neuronal efficiency after emotional competences training: An fMRI study. *Psychologica Belgica*, 54, 328–349. <https://doi.org/10.5334/pb.av>

Hansenne, M., & Weets, E. (2020). Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) over the left DLPFC improves emotion regulation. *Polish Psychological Bulletin*, 51(1), 37–43. <https://doi.org/10.24425/ppb.2020.132653>

Hampstead, B. M., Briceño, E. M., Mascaro, N., Moudoukoutas, A., & Bikson, M. (2016). Current Status of Transcranial Direct Current Stimulation in Posttraumatic Stress and Other Anxiety Disorders. *Current Behavioral Neuroscience Reports*, 3(2), 95–101. <https://doi.org/10.1007/s40473-016-0070-9>

He, Z., Lin, Y., Xia, L., Liu, Z., Zhang, D., & Elliott, R.M. (2018). Critical role of the right VLPFC in emotional regulation of social exclusion: a tDCS study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13, 357-366. <https://doi.org/10.1093/scan/nsy026>

He, Z., Liu, Z., Zhao, J., Elliott, R., & Zhang, D. (2019). Improving emotion regulation of social exclusion in depression-prone individuals: a tDCS study targeting right VLPFC. *Psychological Medicine*, 50(16), 2768–2779. <https://doi.org/10.1017/s0033291719002915>

Heatherton, T. F., & Baumeister, R. F. (1991). Binge eating as escape from self-awareness. *Psychological Bulletin*, 110(1), 86–108. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.110.1.86>

Heeren, A., Dricot, L., Billieux, J., Philippot, P., Grynberg, D., de Timary, P., & Maurage, P. (2017). Correlates of Social Exclusion in Social Anxiety Disorder: An fMRI study. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00310-9>

Heimpel, S. A., Wood, J. V., Marshall, M. A., & Brown, J. D. (2002). Do people with low self-esteem really want to feel better? Self-esteem differences in motivation to repair negative moods. *Journal of Personality and Social Psychology*, 82(1), 128–147. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.82.1.128>

Horvath, J. C., Carter, O., & Forte, J. D. (2014). Transcranial direct current stimulation: five important issues we aren't discussing (but probably should be). *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00002>

Huron, D. (2011). Why is sad music pleasurable? A possible role for prolactin. *Musicae Scientiae*, 15(2), 146–158. <https://doi.org/10.1177/1029864911401171>

Jones, K. T., Stephens, J. A., Alam, M., Bikson, M., & Berryhill, M. E. (2015). Longitudinal Neurostimulation in Older Adults Improves Working Memory. *PLOS ONE*, 10(4), e0121904. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121904>

Kaladjian, A., Jeanningros, R., Azorin, J. M., Grimault, S., Anton, J. L., & Mazzola-Pomietto, P. (2007). Blunted activation in right ventrolateral prefrontal cortex during motor response inhibition in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 97(1–3), 184–193. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2007.07.033>

Kämpfe, N., & Mitte, K. (2009). What you wish is what you get? The meaning of individual variability in desired affect and affective discrepancy. *Journal of Research in Personality*, 43(3), 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2009.01.007>

Ke, Y., Wang, N., Du, J., Kong, L., Liu, S., Xu, M., An, X., & Ming, D. (2019). The Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) on Working Memory Training in Healthy Young Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00019>

Kekic, M., Boysen, E., Campbell, I. C., & Schmidt, U. (2016). A systematic review of the clinical efficacy of transcranial direct current stimulation (tDCS) in psychiatric disorders. *Journal of Psychiatric Research*, 74, 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2015.12.018>

Kidgell, D. J., Daly, R. M., Young, K., Lum, J., Tooley, G., Jaberzadeh, S., Zoghi, M., & Pearce, A. J. (2013). Different Current Intensities of Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Do Not Differentially Modulate Motor Cortex Plasticity. *Neural Plasticity*, 2013, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/603502>

Kim, S. H., & Hamann, S. (2007). Neural Correlates of Positive and Negative Emotion Regulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 776–798. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.776>

Kuo, Hsiao-I., Bikson, M., Datta, A., Minhas, P., Paulus, W., Kuo, M.-F., & Nitsche, M. A. (2013). Comparing Cortical Plasticity Induced by Conventional and High-Definition 4 × 1 Ring tDCS: A Neurophysiological Study. *Brain Stimulation*, 6(4), 644–648. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2012.09.010>

Kurdi, B., Lozano, S., & Banaji, M. R. (2016). Introducing the Open Affective Standardized Image Set (OASIS). *Behavior Research Methods*, 49(2), 457–470. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0715-3>

Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. Oxford University Press.

Lang, P.J., Bradley, M.M., & Cuthbert, B.N. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.

LeDoux, J. E. (1996). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Simon & Schuster.

Lefaucheur, J.-P., Aleman, A., Baeken, C., Benninger, D. H., Brunelin, J., Di Lazzaro, V., Filipović, S. R., Grefkes, C., Hasan, A., Hummel, F. C., Jääskeläinen, S. K., Langguth, B., Leocani, L., Londero, A., Nardone, R., Nguyen, J.-P., Nyffeler, T., Oliveira-Maia, A. J., Oliviero, A., & Padberg, F. (2020). Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS): An update (2014–2018). *Clinical Neurophysiology*, 131(2), 474–528. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.002>

Levy, B. J., & Wagner, A. D. (2011). Cognitive control and right ventrolateral prefrontal cortex: reflexive reorienting, motor inhibition, and action updating. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224(1), 40–62. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.05958.x>

Lissek, S., Rabin, S. J., McDowell, D. J., Dvir, S., Bradford, D. E., Geraci, M., Pine, D. S., & Grillon, C. (2009). Impaired discriminative fear-conditioning resulting from elevated fear responding to learned safety cues among individuals with panic disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 47(2), 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2008.10.017>

Marchewka, A., Żurawski, Ł., Jednoróg, K., & Grabowska, A. (2013). The Nencki Affective Picture System (NAPS): Introduction to a novel, standardized, wide-range, high-quality, realistic picture database. *Behavior Research Methods*, 46(2), 596–610. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0379-1>

Marques, L. M., Morello, L., & Boggio, P. S. (2018). Ventrolateral but not dorsolateral prefrontal cortex tDCS effectively impact emotion reappraisal - effects on emotional experience and interbeat Interval. *Scientific Reports*, 8, 15295. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33711-5>

Merckelbach, H., de Jong, P. J., Muris, P., & van den Hout, M. A. (1996). The etiology of specific phobias: A review. *Clinical Psychology Review*, 16(4), 337–361. [https://doi.org/10.1016/0272-7358\(96\)00014-1](https://doi.org/10.1016/0272-7358(96)00014-1)

Miler, J. A., Meron, D., Baldwin, D. S., & Garner, M. (2017). The Effect of Prefrontal Transcranial Direct Current Stimulation on Attention Network Function in Healthy Volunteers. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 21(4), 355–361. <https://doi.org/10.1111/ner.12629>

Miyaguchi, S., Onishi, H., Kojima, S., Sugawara, K., Tsubaki, A., Kirimoto, H., Tamaki, H., & Yamamoto, N. (2013). Corticomotor excitability induced by anodal transcranial direct current stimulation with and without non-exhaustive movement. *Brain Research*, 1529, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.07.026>

Miyamoto, Y., & Ma, X. (2011). Dampening or savoring positive emotions: A dialectical cultural script guides emotion regulation. *Emotion*, 11(6), 1346–1357. <https://doi.org/10.1037/a0025135>

Mutz, J., Edgcumbe, D. R., Brunoni, A. R., & Fu, C. H. (2018). Efficacy and acceptability of non-invasive brain stimulation for the treatment of adult unipolar and bipolar depression: A systematic review and meta-analysis of randomised sham-controlled trials. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 92, 291–303. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.05.015>

Nitsche, M. A., & Fregni, F. (2007). Transcranial Direct Current Stimulation - An Adjuvant Tool for the Treatment of Neuropsychiatric Diseases? *Current Psychiatry Reviews*, 3(3), 222–232. <https://doi.org/10.2174/157340007781369649>

Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899–1901. <https://doi.org/10.1212/wnl.57.10.1899>

Nitsche, M.A., Grundey, J., Liebetanz, D., Lang, N., Tergau, F., & Paulus, W. (2004a). Catecholaminergic consolidation of motorcortical neuroplasticity in humans. *Cereb.Cortex* 14, 1240–1245. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhh085>

Nitsche, M.A., Liebetanz, D., Schlitterlau, A., Henschke, U., Fricke, K., Frommann, K., et al.(2004b).GABAergic modulation of DC stimulation–induced motor cortex excitability shifts in humans. *Eur.J.Neurosci.* 19, 2720–2726. <https://doi.org/10.1111/j.0953-816X.2004.03398.x>

Nolen-Hoeksema, S., Stice, E., Wade, E., & Bohon, C. (2007). Reciprocal relations between rumination and bulimic, substance abuse, and depressive symptoms in female adolescents. *Journal of Abnormal Psychology*, 116(1), 198–207. <https://doi.org/10.1037/0021-843x.116.1.198>

Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2004). Thinking makes it so: A social cognitive neuroscience approach to emotion regulation. In R. F. Baumeister & K. D. Vohs (Eds.), *Handbook of self-regulation: Research, theory, and applications* (pp. 229–255). The Guilford Press.

Ochsner, K. N., & Gross, J. J. (2008). Cognitive Emotion Regulation. *Current Directions in Psychological Science*, 17(2), 153–158. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00566.x>

Ochsner, K. N., Ray, R. D., Cooper, J. C., Robertson, E. R., Chopra, S., Gabrieli, J. D., & Gross, J. J. (2004). For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *NeuroImage*, 23(2), 483–499. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.06.030>

Oliver, M. B., & Raney, A. A. (2011). Entertainment as Pleasurable and Meaningful: Identifying Hedonic and Eudaimonic Motivations for Entertainment Consumption. *Journal of Communication*, 61(5), 984–1004. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2011.01585.x>

Palm, U., Hasan, A., Strube, W., & Padberg, F. (2016). tDCS for the treatment of depression: a comprehensive review. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 266(8), 681–694. <https://doi.org/10.1007/s00406-016-0674-9>

Papageorgiou, C., & Wells, A. (2003). An Empirical Test of a Clinical Metacognitive Model of Rumination and Depression. *Cognitive Therapy and Research*, 27(3), 261–273. <https://doi.org/10.1023/a:1023962332399>

Peña-Gómez, C., Vidal-Piñeiro, D., Clemente, I. C., Pascual-Leone, Á., & Bartrés-Faz, D. (2011). Down-Regulation of Negative Emotional Processing by Transcranial Direct Current Stimulation: Effects of Personality Characteristics. *PLoS ONE*, 6(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022812>

Polivy, J., & Herman, C. P. (2002). Causes of Eating Disorders. *Annual Review of Psychology*, 53(1), 187–213. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135103>

Rachman, S. (1993). Obsessions, responsibility and guilt. *Behaviour Research and Therapy*, 31(2), 149–154. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(93\)90066-4](https://doi.org/10.1016/0005-7967(93)90066-4)

Riediger, M., Schmiedek, F., Wagner, G. G., & Lindenberger, U. (2009). Seeking Pleasure and Seeking Pain: Differences in Prohedonic and Contra-Hedonic Motivation From Adolescence to Old Age. *Psychological Science*, 20(12), 1529–1535. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02473.x>

Richards, J. M., & Gross, J. J. (2006). Personality and emotional memory: How regulating emotion impairs memory for emotional events. *Journal of Research in Personality*, 40(5), 631–651. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2005.07.002>

Rozovskaya, R. I., Machinskaya, R. I., & Pechenkova, E. V. (2016). The influence of emotional coloring of images on visual working memory in adults and adolescents. *Human Physiology*, 42(1), 69–78. <https://doi.org/10.1134/s0362119716010138>

Rubia, K., Overmeyer, S., Taylor, E., Brammer, M., Williams, S. C., Simmons, A., & Bullmore, E. T. (1999). Hypofrontality in Attention Deficit Hyperactivity Disorder During Higher-Order Motor Control: A Study With Functional MRI. *American Journal of Psychiatry*, 156(6), 891–896. <https://doi.org/10.1176/ajp.156.6.891>

Ruf, S. P., Fallgatter, A. J., & Plewnia, C. (2017). Augmentation of working memory training by transcranial direct current stimulation (tDCS). *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01055-1>

Schroeder, P. A., Schwippel, T., Wolz, I., & Svaldi, J. (2020). Meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation on inhibitory control. *Brain Stimulation*, 13(5), 1159–1167. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.05.006>

Senkowski, D., Sobirey, R., Haslacher, D., & Soekadar, S. R. (2022). Boosting working memory: uncovering the differential effects of tDCS and tACS. *Cerebral Cortex Communications*, 3(2). <https://doi.org/10.1093/texcom/tgac018>

Sloman, A. (1987). Motives, mechanisms, and emotions. *Cognition and Emotion*, 1(3), 217–233. <https://doi.org/10.1080/02699938708408049>

Solomon, R.C. (2008). The Philosophy of Emotions. In *Handbook of emotions* (3rd ed., pp. 3–16). The Guilford Press.

Spasojević, J., & Alloy, L. B. (2001). Rumination as a common mechanism relating depressive risk factors to depression. *Emotion*, 1(1), 25–37. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.1.1.25>

Stramaccia, D. F., Penolazzi, B., Sartori, G., Braga, M., Mondini, S., & Galfano, G. (2015). Assessing the effects of tDCS over a delayed response inhibition task by targeting the right inferior frontal gyrus and right dorsolateral prefrontal cortex. *Experimental Brain Research*, 233(8), 2283–2290. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4297-6>

Tamborini, R., Bowman, N. D., Eden, A., Grizzard, M., & Organ, A. (2010). Defining Media Enjoyment as the Satisfaction of Intrinsic Needs. *Journal of Communication*, 60(4), 758–777. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2010.01513.x>

Tamir, M. (2015). Why Do People Regulate Their Emotions? A Taxonomy of Motives in Emotion Regulation. *Personality and Social Psychology Review*, 20(3), 199–222. <https://doi.org/10.1177/1088868315586325>

Tamir, M., & Ford, B. Q. (2009). Choosing to be afraid: Preferences for fear as a function of goal pursuit. *Emotion*, 9(4), 488–497. <https://doi.org/10.1037/a0015882>

Tamir, M., Ford, B. Q., & Ryan, E. (2013). Nonconscious goals can shape what people want to feel. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(2), 292–297. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2012.11.009>

Tamir, M., Mitchell, C., & Gross, J. J. (2008). Hedonic and instrumental motives in anger regulation. *Psychological Science*, 19(4), 324–328. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02088.x>

Thair, H., Holloway, A. L., Newport, R., & Smith, A. D. (2017). Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS): A Beginner's Guide for Design and Implementation. *Frontiers in Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00641>

Thompson, R. A. (1990). Emotion and self-regulation. In R. A. Thompson (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation, 1988: Socioemotional development* (pp. 367–467). University of Nebraska Press.

Thompson, R. A., & Calkins, S. D. (1996). The double-edged sword: Emotional regulation for children at risk. *Development and Psychopathology*, 8(1), 163–182. <https://doi.org/10.1017/s0954579400007021>

To, W. T., Hart, J., De Ridder, D., & Vanneste, S. (2016). Considering the influence of stimulation parameters on the effect of conventional and high-definition transcranial direct current stimulation. *Expert Review of Medical Devices*, 13(4), 391–404. <https://doi.org/10.1586/17434440.2016.1153968>

Tremblay, S., Beaulé, V., Lepage, J.-F., & Théoret, H. (2013). Anodal transcranial direct current stimulation modulates GABAB-related intracortical inhibition in the M1 of healthy individuals. *NeuroReport*, 24(1), 46–50. <https://doi.org/10.1097/wnr.0b013e32835c36b8>

Truong, D. Q., Magerowski, G., Blackburn, G. L., Bikson, M., & Alonso-Alonso, M. (2013). Computational modeling of transcranial direct current stimulation (tDCS) in obesity: Impact of head fat and dose guidelines. *NeuroImage: Clinical*, 2, 759–766. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.05.011>

Tsai, J. L., Knutson, B., & Fung, H. H. (2006). Cultural variation in affect valuation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 90(2), 288–307. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.2.288>

Vergallito, A., Riva, P., Pisoni, A., & Romero Lauro, L. J. (2018). Modulation of negative emotions through anodal tDCS over the right ventrolateral prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 119, 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.07.037>

Vieira, L., Marques, D., Melo, L., Marques, R. C., Monte-Silva, K., & Cantilino, A. (2020). Transcranial direct current stimulation effects on cognitive reappraisal: An unexpected result? *Brain Stimulation*, 13(3), 650–652. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.02.010>

Wagner, T., Fregni, F., Fecteau, S., Grodzinsky, A., Zahn, M., & Pascual-Leone, A. (2007). Transcranial direct current stimulation: A computer-based human model study. *NeuroImage*, 35(3), 1113–1124. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.01.027>

Watkins, E. R. (2008). Constructive and unconstructive repetitive thought. *Psychological Bulletin*, 134(2), 163–206. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.2.163>

Weintraub-Brevda, R. Rachel, "Understanding the Role of the Ventrolateral Prefrontal Cortex in Emotional Memory using Transcranial Direct Current Stimulation and Transcranial Magnetic Stimulation" (2017). CUNY Academic Works.

https://academicworks.cuny.edu/gc_etds/2369

Wenzlaff, R. M., & Wegner, D. M. (2000). Thought Suppression. *Annual Review of Psychology*, 51(1), 59–91. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.51.1.59>

Westwood, S., Asherson, P., Cohen Kadosh, R., Wexler, B., & Rubia, K. (2019). A novel neurotherapy of transcranial direct current stimulation (tDCS) combined with cognitive training in ADHD children. *Brain Stimulation*, 12(2), 521. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.12.714>

Wiens, S., Sand, A., & Olofsson, J. K. (2011). Nonemotional features suppress early and enhance late emotional electrocortical responses to negative pictures. *Biological Psychology*, 86(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.11.001>

Willis, M. L., Murphy, J. M., Ridley, N. J., & Vercammen, A. (2015). Anodal tDCS targeting the right orbitofrontal cortex enhances facial expression recognition. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(12), 1677–1683. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv057>

Witkiewitz, K., Stein, E. R., Votaw, V. R., Wilson, A. D., Roos, C. R., Gallegos, S. J., Clark, V. P., & Claus, E. D. (2019). Mindfulness-Based Relapse Prevention and Transcranial Direct Current Stimulation to Reduce Heavy Drinking: A Double-Blind Sham-Controlled Randomized Trial. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 46(6). <https://doi.org/10.1111/acer.14053>

Wood, J. V., Heimpel, S. A., Manwell, L. A., & Whittington, E. J. (2009). This mood is familiar and I don't deserve to feel better anyway: Mechanisms underlying self-esteem differences in

motivation to repair sad moods. *Journal of Personality and Social Psychology*, 96(2), 363–380. <https://doi.org/10.1037/a0012881>

Zamora, E. V., Richard's, M. M., Introzzi, I., Aydmune, Y., Urquijo, S., Olmos, J. G., & Marchewka, A. (2020). The Nencki Affective Picture System (NAPS): a Children-Rated Subset. *Trends in Psychology*, 28(4), 477–493. <https://doi.org/10.1007/s43076-020-00029-z>

Zhang, Q., Li, X., Liu, X., Liu, S., Zhang, M., Liu, Y., Zhu, C., & Wang, K. (2022). The Effect of Non-Invasive Brain Stimulation on the Downregulation of Negative Emotions: A Meta-Analysis. *Brain Sciences*, 12(6), 786. <https://doi.org/10.3390/brainsci12060786>

Annexes

Les présentes annexes contiennent un exemplaire du modèle de formulaire de consentement éclairé ; un modèle du formulaire d'information aux participant·e·s et comprenant les informations sur l'étude menée, les droits des participant·e·s ainsi que les informations de contact en cas de question ou de retrait de participation ; ainsi qu'un modèle de l'ERQ.

**CONSENTEMENT ECLAIRE
POUR DES RECHERCHES IMPLIQUANT DES SUJETS HUMAINS**

Titre de la recherche	Effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) du cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) sur la régulation des émotions
Chercheur·euse responsable	André Vivegnis
Promoteur	Hansenne Michel
Service et numéro de téléphone de contact	Département de psychologie : PsyNCog Téléphone : 04/366.33.20

Je, soussigné·e déclare :

- avoir reçu, lu et compris une présentation écrite de la recherche dont le titre et le chercheur responsable figurent ci-dessus ;
- avoir pu poser des questions sur cette recherche et reçu toutes les informations que je souhaitais.

Je comprends que :

- je peux à tout moment mettre un terme à ma participation à cette recherche sans devoir motiver ma décision ni subir aucun préjudice que ce soit. Les données codées acquises resteront disponibles pour traitements statistiques ;
- je peux contacter le chercheur pour toute question ou insatisfaction relative à ma participation à la recherche ;
- les données recueillies seront strictement confidentielles et il sera impossible à tout tiers non autorisé de m'identifier.

Je donne mon consentement libre et éclairé pour participer en tant que sujet à cette recherche.

Lu et approuvé,

Date et signature

Chercheur·euse responsable

- Je soussigné·e, , chercheur·euse responsable, confirme avoir fourni oralement les informations nécessaires sur l'étude et avoir fourni un exemplaire du document d'information et de consentement au participant.
- Je confirme qu'aucune pression n'a été exercée pour que la personne accepte de participer à l'étude et que je suis prêt à répondre à toutes les questions supplémentaires, le cas échéant.
- Je confirme travailler en accord avec les principes éthiques énoncés dans la dernière version de la « Déclaration d'Helsinki », des « Bonnes pratiques Cliniques » et de la loi belge du 7 mai 2004, relative aux expérimentations sur la personne humaine, ainsi que dans le respect des pratiques éthiques et déontologiques de ma profession.

Nom, prénom de lae chercheur·euse responsable

Date et signature

Formulaire d'information au volontaire

TITRE DE LA RECHERCHE

Effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) du cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) sur la régulation des émotions

ETUDIANT·E RESPONSABLE

André VIVEGNIS, Mémorant·e, 0495 43 21 43, avivegnis@student.uliege.be

PROMOTEUR

Michel HANSENNE

Université de Liège

PsyNCog

Place des Orateurs, 3

Bâtiment B33

4000 Liège

Belgique

+32 (0)4 366 46 56

DESCRIPTION DE L'ETUDE

Avant toute chose, nous vous remercions d'avoir accepté de prendre part de manière volontaire à cette étude.

L'objectif de cette expérience est d'investiguer l'effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) sur la régulation émotionnelle. La tDCS est une technique de stimulation non invasive permettant de stimuler ou d'inhiber une région cérébrale à l'aide de deux électrodes entre lesquelles passe un courant électrique d'une intensité très faible.

Cette technique ne présente aucun danger à court ou à long terme, les seuls effets secondaires reportés (rarement) étant une faible sensation de chaleur ou de picotements ou de légères rougeurs au niveau des zones de stimulations. Ces inconvénients mineurs disparaissent presque immédiatement suite à l'arrêt de la stimulation.

Cette étude dure environ une demi-heure. Il vous sera demandé de remplir un questionnaire lié aux émotions et de réaliser une tâche de régulation émotionnelle. Au cours de cette tâche vous visionnerez des images sélectionnées spécifiquement pour induire des émotions, positives ou négatives, à des degrés d'intensités divers. Certaines images peuvent générer des émotions importantes. Votre tâche sera de réguler ces émotions, c'est-à-dire tenter d'augmenter ou de diminuer l'intensité du ressenti émotionnel à l'aide de la technique qui vous sera expliquée en début de séance.

Cette étude a été examinée et approuvée par le Comité d'éthique mais cet avis ne doit pas être considéré comme une incitation à participer à cette étude. En vertu de la loi du 7 mai 2004 relative aux expérimentations sur la personne humaine, le promoteur assume, même sans faute, la responsabilité du dommage causé au participant ou à ses ayants-droits, dommage lié de manière directe ou indirecte à l'expérimentation. Il a contracté une assurance à cet égard.

Vous pouvez à tout moment mettre un terme à votre participation à cette recherche sans devoir motiver votre décision ni subir aucun préjudice que ce soit.

Si vous avez d'autres questions, n'hésitez pas à les poser avant de débuter. Des informations additionnelles vous seront fournies avant chaque partie de cette expérience.

Avant de participer à l'étude, nous attirons votre attention sur un certain nombre de points.

Votre participation est conditionnée à une série de droits pour lesquels vous êtes couverts en cas de préjudices. Vos droits sont explicités ci-dessous.

- Votre participation est libre. Vous pouvez l'interrompre sans justification.
- Aucune divulgation de vos informations personnelles n'est possible même de façon non intentionnelle. En cas d'accord pour un enregistrement (audio/vidéo), vos données seront d'autant plus sécurisées. Seules les données codées pourront être transmises à la communauté des chercheurs. Ces données codées ne permettent plus de vous identifier et il sera impossible de les mettre en lien avec votre participation.
- Le temps de conservation de vos données personnelles est réduit à son minimum. Par contre, les données codées peuvent être conservées *ad vitam aeternam*.
- Les résultats issus de cette étude seront toujours communiqués dans une perspective scientifique et/ou d'enseignement.
- Conserver les deux points suivants uniquement si l'étude a reçu l'accord pour la transmission des données. Par défaut, la position du comité d'éthique est que la transmission individuelle des résultats n'est pas autorisée. Cette transmission doit être justifiée par le promoteur dans le formulaire de demande d'avis
- En cas de préjudice, sachez qu'une assurance vous couvre.
- Si vous souhaitez formuler une plainte concernant le traitement de vos données ou votre participation à l'étude, contactez le responsable de l'étude et/ou le DPO et/ou le Comité d'éthique (cf. adresses à la fin du document).

Tous ces points sont détaillés aux pages suivantes. Pour toute autre question, veuillez vous adresser au chercheur ou au responsable de l'étude. Si ces informations sont claires et que vous souhaitez participer à l'étude, nous vous invitons à signer le formulaire de consentement. Conservez bien une copie de chaque document transmis afin de pouvoir nous recontacter si nécessaire.

Personnes à contacter

Vous avez le droit de poser toutes les questions que vous souhaitez sur cette recherche et d'en recevoir les réponses.

Si vous avez des questions ou en cas de complication liée à l'étude, vous pouvez contacter les personnes suivantes :

André VIVEGNIS

Email : avivegnis@student.uliege.be

Téléphone : 0495 43 21 43

ou l'investigateur principal du projet :

Romain DUMONT

Email : romain.dumont@uliege.be

Téléphone : 0479 74 41 50

Pour toute question, demande d'exercice des droits ou plainte relative à la gestion de vos données à caractère personnel, vous pouvez vous adresser au délégué à la protection des données par e-mail (dpo@uliege) ou par courrier signé et daté adressé comme suit :

Monsieur le Délégué à la protection des données
Bât. B9 Cellule "GDPR",
Quartier Village 3,
Boulevard de Colonster 2,
4000 Liège, Belgique.

Vous disposez également du droit d'introduire une réclamation auprès de l'Autorité de protection des données (<https://www.autoriteprotectiondonnees.be>, contact@apd-gba.be).

Résumé

La régulation des émotions est un aspect important de notre vie quotidienne. Qu'elle soit consciente ou non, celle-ci fait partie intégrante de nous. Plusieurs auteur·rice·s ont tenté de mieux comprendre les mécanismes et les motivations afférentes à ce processus. Au travers de cela, il a été possible de mettre en avant des régulations dites « adaptatives » et d'autres dites « non-adaptatives ». Si l'une n'est pas nécessairement mieux que l'autre, la littérature a constaté que des liens plus importants existaient entre des psychopathologies, telles que la dépression ou encore l'anxiété, et les régulations non-adaptatives.

Dans l'optique d'élargir le champ des possibles au niveau de la prise en charge de personnes souffrant d'une psychopathologie, mais aussi de mieux comprendre le rôle de certaines structures préfrontales, plusieurs auteur·rice·s se sont intéressé·e·s aux effets de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) du cortex préfrontal dorsolatéral (DLPFC) ou du cortex préfrontal ventrolatéral (VLPFC) sur la régulation des émotions.

Dans la continuité de cela, nous avons fait passer une tâche de régulation des émotions à 48 participant·e·s où iels devaient augmenter, diminuer ou maintenir leur ressenti émotionnel face à des stimuli visuels tantôt positifs, tantôt négatifs ou tantôt neutres, lors d'une tDCS de leur VLPFC. La moitié des stimuli positifs et négatifs s'était vu attribuer la condition de régulation des émotions « Regarder », qui consistait à simplement maintenir leur émotion comme elle leur venait, afin d'établir une ligne de base des émotions tant positives que négatives dans le but de pouvoir comparer les conditions de régulation à ces lignes de bases. La compétence de régulation des émotions était évaluée au travers de l'ERQ (*Emotion Regulation Questionnaire*, Gross & John, 2003). Une ANOVA factorielle 3 (groupes expérimentaux : F7/Fp2, F8/Fp1, sham) x 5 (condition de régulation des émotions : augmenter +, regarder +, regarder neutre, diminuer -, regarder -) à mesures répétées a mis en évidence un effet significatif de la condition de régulation des émotions mais n'a pas permis de mettre en évidence une interaction entre le groupe et la condition.

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude ne nous permettent pas de conclure à un effet de la tDCS du VLPFC sur la régulation des émotions. Parmi les raisons de cette absence d'effet, il est possible que certains aspects liés à la stimulation, le matériel émotionnel utilisé ou encore l'utilisation d'une session unique de tDCS soient des facteurs en cause de l'absence d'effet. Dès lors, il serait utile de prendre en compte ces facteurs dans le futur afin d'étendre les implications de nos résultats et de développer les connaissances sur le sujet.