

---

## Effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) sur le sentiment d'exclusion sociale : influence du visage du partenaire amoureux

**Auteur :** Saint-Mard, Marine

**Promoteur(s) :** Hansenne, Michel

**Faculté :** Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

**Diplôme :** Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée en neurosciences cognitive et comportementales

**Année académique :** 2022-2023

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/19223>

---

### 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.

---



## YMEM0005-1 Mémoire Partim 2

**Saint-Mard Marine**

s183104

**Effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) sur le sentiment d'exclusion sociale : influence du visage du partenaire amoureux**

**Promoteur : Michel Hansenne**

## Remerciements

J'aimerais tout d'abord remercier mon promoteur, Michel Hansenne, qui s'est intéressé à mon idée de projet, l'a acceptée et m'a aidée à la développer en thème de mémoire et m'a ensuite suivie tout au long du processus. Je le remercie de s'être rendu disponible dès que j'en avais besoin et de m'avoir toujours reçue avec bonne humeur. Merci mille fois pour la confiance qui m'a été accordée.

Merci également à Benoît Dardenne et Steve Majerus qui ont accepté de s'intéresser à mon travail et de constituer mon jury de mémoire.

Je souhaite également exprimer une reconnaissance particulière à Ezio Tirelli qui m'a aidée, encouragée et conseillée afin de donner corps à un travail aussi transparent et méthodologiquement méticuleux que possible, ainsi qu'à Vincent Didone qui m'a grandement aidée dans la réalisation de mon analyse de puissance.

Je voudrais aussi transmettre ma plus grande gratitude à mes ami·e·s qui m'ont toujours soutenue, motivée et ont cru en mes capacités. Petite mention spéciale attribuée à mes ami·e·s de master en neurosciences qui m'ont supportée non sans peine au quotidien pendant ces deux années passées ensemble.

Un grand merci aux quelques personnes qui ont consenti à relire ce mémoire pour m'aider à le peaufiner comme il se doit, vous êtes des anges.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont accepté de participer à cette recherche ou en ont eu l'intention, sans qui ce travail n'aurait pas pu aussi bien se dérouler.

## Résumé

L'amour, qui a toujours fait partie de l'humanité, a antérieurement été étudié, mais sa persistance de nos jours n'est toujours pas bien comprise. Cette recherche étudie la possibilité de sa survie par le biais d'atténuation de la douleur provoquée par des situations socialement inconfortables. Il a déjà été suggéré dans la littérature que la visualisation d'une image du partenaire romantique permettait d'atteindre cet objectif. La propension de la neuromodulation par stimulation transcrânienne à courant continu (tDCS) sur cette douleur sociale – elle aussi, déjà investiguée dans le passé – et sur l'effet analgésique susmentionné lié à l'image est examinée ici.

Des stimulations anodiques et SHAM ont été administrées à des participant·e·s amoureux·ses alors qu'ils voyaient des indices visuels de leur partenaire romantique (comparé à ceux de leur ami·e proche). 40 participant·e·s (effectif basé sur une analyse de puissance) ont été stimulé·e·s sur le cortex préfrontal ventrolatéral droit (CPFVLd) à l'emplacement F6 (système international 10-20), Fp1 étant la zone neutre, pendant qu'ils jouaient au Cyberball game et voyaient successivement des images de leurs deux partenaires sociaux. Ce jeu de lancer de balle est un inducteur d'ostracisme.

Les résultats n'ont indiqué de reproductions ni d'un effet analgésique de la stimulation ni d'un effet des indices visuels. Néanmoins, lors d'une stimulation anodique, voir la photo de l'ami·e était plus douloureux socialement que de voir celle du partenaire romantique. De manière plus intéressante, les participant·e·s ressentaient significativement plus d'émotions positives, mais pas moins de négatives, lorsqu'ils voyaient leur bien-aimé·e que lorsqu'ils voyaient leur ami·e.

Cela pourrait refléter une propension de l'amour à accroître le bonheur par le biais d'induction d'émotions positives, mais pas par une limitation d'affects négatifs. L'hétérogénéité considérable entre les participant·e·s au niveau des scores de douleur sociale suggère que l'absence d'effet analgésique peut être due à des effets de médiation de variables telles que le style d'attachement, l'hypercompétitivité ou l'estime de soi, qui devraient être étudiées dans le cadre de futures recherches.

## TABLE DES MATIÈRES

Remerciements .....	1
Résumé .....	2
I. INTRODUCTION .....	6
1. Contexte .....	6
1.1. DOULEUR SOCIALE.....	6
1.1.1. Cyberball .....	7
1.1.2. Bases neuronales.....	8
1.2. AMOUR ROMANTIQUE.....	10
1.2.1. Effets analgésiques .....	10
1.2.2. Visionnage d'image du partenaire.....	11
1.3. STIMULATION TRANSCRÂNIENNE À COURANT DIRECT (tDCS).....	12
1.3.1. TDCS et douleur sociale.....	12
1.3.2. TDCS et amour.....	14
2. Expérience.....	14
2.1. PLAN GÉNÉRAL DE L'EXPÉRIENCE.....	14
3. Hypothèses .....	15
3.1. APPORTS À LA LITTÉRATURE.....	16
II. MÉTHODES.....	17
4. Participants .....	17
4.1. ANALYSE DE PUISSANCE.....	17
4.2. DONNÉES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES .....	17
4.3. CRITÈRES D'INCLUSION.....	18
4.4. CRITÈRES D'EXCLUSION.....	18
5. Plan expérimental.....	20
5.1. CONDITIONS IMAGES.....	21
5.1.1. Condition expérimentale (image du de la partenaire) .....	21

5.1.2.	Condition contrôle (image de l'ami·e).....	21
5.2.	tDCS.....	21
5.2.1.	Condition expérimentale (tDCS active) .....	21
5.2.2.	Condition contrôle (SHAM).....	22
5.3.	PRÉCAUTIONS EXPÉRIMENTALES.....	22
5.4.	CONDITIONS DE PASSATION.....	22
5.5.	ÉTHIQUE .....	22
6.	Procédure.....	23
6.1.	DÈS LE RECRUTEMENT.....	23
6.2.	QUESTIONNAIRES .....	23
6.2.1.	Questionnaire socio-démographique .....	23
6.2.2.	PLS .....	24
6.3.	IMAGES .....	26
6.3.1.	Standardisation des photographies .....	26
6.3.2.	Affichage de l'image sur l'écran .....	26
6.4.	TDCS .....	27
6.5.	CYBERBALL GAME .....	29
6.5.1.	Aspects techniques .....	29
6.6.	RÉSUMÉ .....	31
7.	Analyses des données.....	33
III.	RÉSULTATS .....	34
8.	Tableaux récapitulatifs des données descriptives (sections 9., 10. et 11.) .....	34
9.	Induction de douleur sociale : pourcentage perçu de réception de balle.....	35
10.	Modèle principal : douleur sociale .....	37
11.	Modèle exploratoire : émotions négatives.....	39
12.	Modèle exploratoire : émotions positives.....	40
13.	Régression exploratoire entre niveau d'amour et analgésie de la condition d'image.....	41

IV. DISCUSSION .....	42
14. Limites de l'étude .....	47
15. Pistes futures, perspectives .....	50
V. CONCLUSION.....	55
VI. BIBLIOGRAPHIE .....	56
VII. ANNEXES .....	63

# I. INTRODUCTION

---

“Love is the one thing that we’re capable of perceiving  
that transcends dimensions of time and space”  
(Christopher Nolan, 2014).

## *1. Contexte*

De tous temps, l’amour a toujours fait partie intégrante de nos vies, que nous le voulions ou non. Qu’il nous procure du bonheur, qu’il nous rende triste ou qu’il nous aide à traverser des épreuves difficiles et nous reconforte, il ne cessera probablement jamais de nous faire nous languir pour lui. L’une des raisons pour laquelle il continuera d’exister pourrait peut-être résider dans sa capacité à agir contre certains ressentis aversifs, nous amenant à retrouver plus facilement la tranquillité et l’apaisement face à la difficulté, notamment sociale. C’est exactement cette possibilité qui va être explorée dans le cadre de ce travail.

La stimulation transcrânienne à courant discontinu (tDCS) est une technique de neuromodulation (qui sera davantage détaillée dans la suite de ce rapport) qui pourrait permettre d’influer, elle aussi, sur le ressenti affectif (lors d’une exclusion sociale par exemple). L’objectif sera alors de voir si c’est bien le cas dans le type de situation qui va être étudiée ici (en l’occurrence, en cas de douleur sociale) et de voir si elle peut avoir un impact sur l’effet que l’on pourrait qualifier d’analgésique que peut avoir la perception d’un indice (visuel, en l’occurrence) du ou de la partenaire romantique lors de ce genre de contexte social.

### **1.1. DOULEUR SOCIALE**

Lorsque nous sommes exclus d’une situation sociale, la sensation d’inconfort que nous ressentons peut se qualifier de douleur sociale. D’ailleurs, cette sensation douloureuse pourrait être expliquée en partie par les zones cérébrales sous-jacentes à son apparition. En effet, une superposition partielle existe entre les composants cérébraux de la douleur sociale et de la douleur physique (voir p.ex., Eisenberger, 2012 ; Eisenberger, 2015 ; Karos, 2018, Kim 2022). Cependant, la signification et les conséquences de ce chevauchement restent relativement floues dans la littérature et sont toujours discutées par les chercheurs s’y intéressant. Une première partie de chercheur·euse·s (pour des états de la littérature, voir par exemple Eisenberger, 2015 ; Karos, 2018 ; Kim, 2022) maintiennent qu’il convient de différencier les deux types de douleur parce que trop peu de preuves existent pour en conclure l’inverse, d’une part parce qu’elles impliquent différents niveaux d’intensités d’activation des zones communes (Kim et al., 2022)

et ne permettent pas les mêmes types de processus de reviviscence (Meyer et al., 2015), et d'autre part parce que ces mêmes zones ne sont pas forcément spécifiques à la douleur (Karos et al., 2018). Une étude a d'ailleurs montré qu'une intelligence artificielle pouvait classer avec 80% à 92% d'exactitude si le ressenti des participant·e·s impliquait une douleur sociale ou une douleur physique, malgré l'activité commune traduite par une IRM (Woo et al., 2014). Une seconde partie de chercheur·euse·s ont en revanche montré qu'il existerait une relation mutuelle et bidirectionnelle entre les deux types de douleur, ce qui signifierait selon certain·e·s que leur composante affective mais pas sensitive serait commune (Eisenberger, 2012b), que leurs conséquences psychologiques seraient équivalentes (Riva et al., 2011) ou encore que des facteurs de soutien social pourraient avoir un effet sur le ressenti douloureux (Riva et al., 2011).

Comme l'avait bien compris et expliqué Maslow (1943) dans sa pyramide des besoins, en tant qu'humains, nous avons un grand besoin d'appartenance et d'amour, chose mise à mal lorsque nous sommes placés à l'écart. Selon cette théorie, ce besoin fait même partie de ceux qui entraîneront des carences s'ils se retrouvent bafoués (McLeod, 2007). Ceci entre en adéquation avec la dernière proposition de Riva et al. (2011), citée ci-dessus.

#### 1.1.1. Cyberball

Afin d'étudier la douleur sociale, aussi appelée ostracisme, le jeu du Cyberball a été mis en place par Williams et ses collaborateur·trice·s en 2000. Depuis, il a continué d'évoluer (pour une mise au point de son utilisation 6 ans plus tard, voir Williams & Jarvis, 2006) pour arriver à la version la plus récente du jeu (5.7.0, consulté en mai 2022), contenant un grand nombre d'options permettant de manipuler un bon nombre de paramètres afin de le faire s'adapter au mieux à l'expérience à effectuer, le paradigme imaginé. Le software en lui-même et son manuel d'utilisation sont téléchargeables sur la page internet suivante : <https://www.empirisoft.com/cyberball.aspx>. Ce jeu sert à induire de l'ostracisme en invitant le·a participant·e à faire des échanges de balle avec d'autres « joueurs » (qui sont en réalité des ordinateurs, les échanges qu'ils effectuent sont programmés par l'expérimentateur·trice et générés par l'application dans la 5<sup>e</sup> version, utilisée dans le cadre de cette recherche). Dans la condition d'inclusion, le·a participant·e reçoit la balle dans la même proportion que les autres joueurs. Dans la condition d'exclusion, les « joueurs » cessent après un moment d'échanger la balle avec le·a participant·e (ou la lui envoient rarement, voire pas du tout), qui se retrouve alors à regarder les autres jouer sans lui ou elle. C'est ce qui induit alors cette douleur sociale chez le sujet. Les auteur·e·s ont été surpris·es de constater l'effet robuste de l'exclusion dans leur jeu qui n'est pas « réel » puisque tout se passe en ligne avec une balle qui n'existe pas réellement,

contrairement à un paradigme qu'ils avaient utilisé plus tôt, impliquant de vrais échanges de balles entre expérimentateur·trice·s et participant·e·s (Williams & Sommer, 1997). En effet, même pour un simple jeu en ligne, ils ont pu constater que les participant·e·s ressentait des niveaux plus faibles d'appartenance, d'estime de soi et de sentiment de vivre une existence pleine de sens !

Plus tard, il a même été montré à l'aide de variantes du Cyberball (le Cyberbomb, où l'on perd lorsque la bombe explose dans ses mains ou le Cyberball, dans lequel de l'argent est retiré à une personne quand elle reçoit la balle) que même si le fait d'être inclus·e est coûteux pour le·a participant·e, le fait de ne pas l'être engendrera une détresse psychologique chez ces dernier·ère·s (van Beest & Williams, 2004, comme cité dans Williams et al., 2000, pas d'accès en ligne au premier).

Depuis son développement, cette tâche a été utilisée de nombreuses fois pour étudier l'ostracisme (dont plusieurs citées dans des méta-analyses comme celle de Hartgerink et al., 2015 ; celle de Rotge et al., 2015 ; ou encore celle plus récente de Mwilambwe-Tshilobo & Spreng, 2021). La méta-analyse de Rotge et al. (2015) prenait en compte tous types de paradigmes expérimentaux pour étudier les zones cérébrales liées à la douleur sociale mais sur les 46 études incluses, plus de la moitié (30) employaient le Cyberball. Celle de Hartgerink et al. (2015) passait en revue 120 études ayant utilisé cette tâche afin de déterminer une taille synthétique de l'effet de l'induction de la douleur sociale par l'exclusion au jeu. La taille d'effet mise en avant était assez grande puisque la valeur du  $g$  de Hedge était supérieure à 1,4. Cependant, les auteur·e·s avertissent de l'hétérogénéité importante des tailles d'effets dans les différents échantillons, et ce même dans un set d'études méthodologiquement particulièrement homogènes. Ceci suggère l'existence de facteurs modérateurs de la taille d'effet, qui n'ont pas été identifiés dans la littérature. Cependant, la durée de l'exclusion a l'air d'influencer l'implication des zones cérébrales liées (Rotge et al., 2015). L'article de Mwilambwe-Tshilobo & Spreng (2021) reprend 53 études ayant utilisé le Cyberball pour induire l'ostracisme et traite principalement des régions cérébrales concernées, il est abordé dans la section suivante.

### 1.1.2. Bases neuronales

Lorsque le·a participant·e éprouve la condition d'exclusion du jeu du Cyberball, le cortex cingulaire antérieur (CCA) et le cortex préfrontal ventral droit (CPFVd) seraient plus actifs, relativement à l'activité cérébrale en condition d'inclusion (Eisenberger et al., 2003). De plus, l'activation qu'ils ont constatée au niveau du CCA serait positivement corrélée au niveau de détresse émotionnelle : autrement dit, plus l'activation du CCA est élevée, plus la détresse

émotionnelle rapportée par le·a participant·e est élevée. Pour ce qui est de l'activité du CPFVd, elle aurait comme rôle de diminuer l'activité du CCA. En effet, Eisenberger et ses collègues (2003) ont aussi pu constater que lorsque l'on donne une justification de leur exclusion par les autres joueurs aux participant·e·s (leur prétendant que leur exclusion est due à un problème technique, empêchant les autres joueurs de leur envoyer la balle), l'activation du CPFVd ne s'observait pas. L'interprétation réalisée est qu'il n'y aurait pas besoin de l'action du CPFVd pour diminuer l'activité du CCA dans ce cas, puisqu'elle serait déjà médiée par la justification. Il semble donc possible de déduire que le CCA serait le responsable de ce sentiment douloureux provoqué par l'ostracisme et que ce ressenti désagréable serait médié, régulé par le CPFVd. Cette interprétation est supportée par l'implication du cortex préfrontal ventrolatéral droit (CPFVd) dans la régulation d'émotions négatives (par exemple, Wager et al., 2008 ; Cohen et al., 2013) et cela a notamment été supporté par plusieurs études utilisant la tDCS (Vergallito et al., 2018 ; He et al., 2019). Dans la même optique, un grand nombre d'articles concluent en faveur d'une connexion fonctionnelle (notamment) entre le cingulaire antérieur et le CPFVd (par exemple He et al., 2020 ; pour une revue de la littérature, voir Wang et al., 2017).

La méta-analyse de Mwilambwe-Tshilobo & Spreng (2021), étudiant les zones cérébrales liées à l'exclusion sociale au travers de la tâche du Cyberball, suggère quant à elle que les régions impliquées sont celles du Default Mode Network (DMN), comprenant alors le cingulaire antérieur ventral (de manière bilatérale) et non dorsal en plus de l'insulaire postérieur droit, du gyrus frontal supérieur droit, du gyrus frontal inférieur gauche, du cingulaire postérieur gauche ainsi que du pôle occipital gauche. Cette analyse est supportée en partie par d'autres auteur·e·s (voir la revue de Wang et al., 2017), proposant par exemple un sous-réseau dans le DMN comprenant le cortex préfrontal (médial et ventro-latéral), le précunéus ainsi que le lobule pariétal inférieur droit, entrant en connexion avec la part ventrale du cingulaire antérieur (CCAv). Il a été suggéré que l'activité de cette part du CCA serait liée à l'affect négatif généré par l'exclusion sociale (Bolling et al., 2011), qui pourrait donc être mis en parallèle avec le concept de douleur sociale.

Malgré ces divergences d'opinions et de preuves empiriques, les zones souvent ciblées dans les études en tDCS se centrant sur l'ostracisme se concentrent sur la stimulation du CPFVd (par exemple, He et al., 2018 ; He et al., 2019), y compris celles utilisant la tâche du Cyberball (Riva et al., 2012 ; Riva et al., 2015a ; Riva et al., 2015b). Dans ces articles, on peut en effet constater un effet de la stimulation : de ce fait, il est possible d'inférer que même si la douleur sociale elle-même et sa régulation pourraient être sous-tendues par un réseau plus complet et complexe, il est tout de même possible d'agir sur leur intensité en se concentrant sur

le CPFVLd. La tDCS n'étant pas une technique très spatialement précise, il pourrait être argumenté que ce ne soit pas que le CPFVLd qui se retrouve stimulé et qu'ainsi, la déduction précédente ne soit pas correcte. Cependant, une étude récente portant sur le même sujet et la même zone cérébrale proposait des résultats similaires en stimulant non pas à l'aide d'un matériel tDCS mais en stimulation magnétique transcrânienne (TMS ; He et al., 2020), technique plus précise, ce qui encourage donc à s'en tenir à l'explication suggérée.

## **1.2.AMOUR ROMANTIQUE**

Vous en avez peut-être déjà été témoin, de ce sentiment amoureux puissant qui ne ressemble à rien d'autre. Lorsque l'on parle d'amour romantique, c'est à cela que l'on fait référence. En réalité, plusieurs auteur·e·s ont essayé de définir le concept d'amour romantique et l'ont fait de manières différentes dans la littérature, mais la composante du sentiment d'être amoureux·se semble faire l'unanimité entre ces différentes propositions de définitions. Aron & Aron (1991) l'ont par exemple défini comme suit : « the constellation of behaviors, cognitions, and emotions associated with a desire to enter or maintain a close relationship with a specific other person » (comme cité dans Aron, et al., 2006, p.597). Un autre exemple de définition est celle proposée par Hemesath (2016), citée et reformulée par Chalmers (2022) : « “a combination of desire and high emotional intimacy ... and is synonymous with being in love” (p.30); in other words, it is a feeling of emotional and physical interest or connection toward another ». Cependant, puisqu'aucune échelle de mesure d'amour romantique n'existe en version française à l'heure actuelle, c'est une échelle d'amour passionnel qui a été utilisée. L'amour passionnel représente toutefois seulement une sous-catégorie de l'amour romantique (Aron, et al., 2006) et peut être décrit comme tel : « *Un état de désir intense à s'unir avec un autre. L'amour passionnel peut être vécu de deux manières distinctes. Quand il est réciproque, il est associé à une sensation d'extase, de bien-être intérieur et d'une sensation de soulagement mais quand celui-ci n'est pas réciproque (ou qu'il y a une séparation), il est associé à un vide intérieur, à de l'anxiété et à du désespoir* » (Hatfield & Sprecher 1986 comme cité dans Feybesse et al., 2015).

### **1.2.1. Effets analgésiques**

Ce que l'on peut constater à propos de la douleur – qu'elle soit sociale ou physique, comme expliqué précédemment –, c'est qu'elle peut être apaisée par le support social (par exemple en contexte de travail, voir méta-analyse de Viswesvaran et al., 1999 ; Che et al., 2018 pour une revue de la littérature plus récente), surtout quand le support en question est fourni par

une personne importante pour nous (Mc Gowan, 2002). Plus intéressant encore, elle semble pouvoir être encore plus réduite lorsque ce support social est procuré par un·e partenaire romantique. En effet, il a été constaté à de nombreuses reprises que la présence du·de la bien-aimé·e des participant·e·s (Master et al., 2009, Morris et al., 2018), le fait de leur tenir la main (Coan et al., 2017, 2006), le fait de les voir sur une image (Eisenberger et al., 2011 ; Nilakantan et al., 2015 ; Younger et al., 2010) ou encore en imaginer la présence (Jakubiak & Feeney, 2016) engendrait une diminution de la douleur subjective rapportée par les sujets (mesures comportementales par exemple de douleur, d'inconfort et d'émotions négatives suscitées). Ce qui correspondrait à une baisse, voire même à la suppression, de l'activité cérébrale dans les zones liées à la menace et à la douleur (insula et certaines parts du CCA) mesurée objectivement en IRM (Coan et al., 2006 ; Morriss et al., 2018).

### 1.2.2. Visionnage d'image du partenaire

Comme cité plus haut, selon Younger et al. (2010), voir une photographie de son ou sa bien-aimé·e augmenterait l'activité cérébrale dans le circuit de la récompense par rapport au visionnage d'une photographie d'une connaissance ayant une attractivité similaire ou d'une distraction autre qu'un visage. En fait, voir la photographie de son ou de sa partenaire, comparé à celle de la connaissance, permettrait de diminuer le ressenti douloureux d'un stimulus thermique. Des résultats comportementaux similaires avaient déjà été obtenus par Master et ses collaborateur·trice·s (2009) un an plus tôt, proposant l'hypothèse selon laquelle le simple fait d'être indicé du fait d'être aimé et soutenu (grâce à l'image) pourrait alors être suffisant pour que de la douleur soit analgésiée. Iels proposent même que l'effet ne soit pas réellement dû à la photo du·de la partenaire mais plutôt à la conscientisation du fait d'être aimé·e par cette personne.

Dans une de leurs études, Eisenberger et ses collègues (2011) ont constaté une augmentation d'activité dans le cortex préfrontal ventro-médial (zone liée à la récompense et signalant la sécurité) des participant·e·s lorsqu'iels percevaient un indice visuel de leur partenaire en condition de douleur. Ces types d'activations ont été retrouvés dans une autre étude plus récente quand le ou la partenaire était présent·e dans la pièce de contrôle de la salle d'IRM et qu'une communication était établie entre eux entre les essais d'une tâche (Morris et al., 2018). De plus, d'autres auteurs ont également trouvé des activations cérébrales réduites au niveau des zones liées à la menace et à la douleur quand les participant·e·s pouvaient bénéficier d'un contact physique avec leur partenaire (leur tenir la main ; Coan et al., 2006).

De manière intéressante, une étude a montré qu'imaginer un contact physique de soutien de son·sa partenaire romantique entraînait un effet bénéfique sur le stress puisque ce dernier était moins fort chez des personnes imaginant ce type de contact (Jakubiak & Feeney, 2016). Les mêmes auteurs suggèrent d'ailleurs, en lien avec une autre de leurs recherches menées ensemble où il est montré que le contact physique de soutien d'un·e partenaire permet un sentiment de sécurité, que ce même sentiment peut tout aussi bien être présent lorsque le contact est seulement imaginé. Ces observations semblent donc consistantes à ce qui a déjà pu être observé précédemment, comme rapporté dans une revue de la littérature portant sur la modulation sociale de la douleur (Krahé et al., 2013), il semblerait en effet que le soutien social ait la capacité de réduire la douleur même si le·a partenaire social·e n'est pas présent·e lors de l'expérimentation. Par contre, ce serait le cas uniquement si le·a partenaire social·e fait partie de l'in-group de la personne qui subit la douleur ou si le·la partenaire social·e est pertinent·e pour cette dernière et ce serait d'autant plus vrai si ce ou cette partenaire social·e est un partenaire romantique.

### **1.3. STIMULATION TRANSCRÂNIENNE À COURANT DIRECT (tDCS)**

La tDCS est une technique permettant la modulation du seuil d'excitabilité des neurones. L'outillage est principalement composé de deux électrodes, une anode (électrode stimulatrice) et une cathode (électrode inhibitrice) et d'un boîtier permettant de générer un courant passant d'une électrode à l'autre (anode + et cathode -) en traversant le tissu cérébral et de modifier l'intensité de ce courant (potentiomètre). Le seuil d'excitabilité de la zone cérébrale sous l'anode sera donc diminué, ce qui facilitera les décharges entre les neurones de cette région. Sous la cathode, c'est l'inverse qui se produira, le seuil d'excitabilité étant augmenté, les neurones de la zone déchargeront plus difficilement.

#### **1.3.1. TDCS et douleur sociale**

D'après les bases cérébrales de la douleur citées plus haut, l'application de la tDCS au niveau du CPFVLd a été explorée. Dans une étude où les participant·e·s étaient stimulé·e·s anodiquement sur cette zone (anode en F6 et cathode en Fp1, selon le système international 10-20) pendant 24 minutes avec une intensité de 2,5mA (électrodes de 25cm<sup>2</sup> de surface), les résultats ont montré une amélioration de la régulation du ressenti aversif en visionnant des situations d'exclusion sociale (He et al., 2018). Durant cette étude, les participant·e·s visionnaient des images dans lesquelles une personne était exclue d'un groupe d'autres

personnes et devaient, pour certaines, imaginer être la personne rejetée sur la photo ou une personne observatrice pour d'autres (condition dite de réattribution) ou encore en imaginant un meilleur dénouement (autre condition de réattribution) avant d'indiquer leur ressenti d'émotions négatives. La stimulation anodique permettait, associée aux techniques de réattribution, de réduire le ressenti négatif de ces situations d'exclusion sociale. Deux autres études exploitaient, elles, la tâche utilisée dans la présente recherche, c'est-à-dire le Cyberball game. La première mettait en avant qu'une stimulation anodique de la zone engendrait un ressenti de douleur sociale plus faible dans ce type de paradigme (Riva et al., 2012). La seconde relatait que la stimulation cathodique du CPFVLd provoquait une augmentation significative de cette douleur sociale (Riva et al., 2015b). La zone cérébrale ciblée était identique, pourtant, l'électrode stimulante (25cm<sup>2</sup>) avait été placée en F8 lors de la première (Riva et al., 2012) et en F6 au sein de la seconde (Riva et al., 2015b)<sup>1</sup>. L'électrode de référence était quant à elle placée sur l'aire controlatérale (Fp1) supraorbitale et mesurait 35cm<sup>2</sup> dans les deux cas. La tDCS avait été appliquée en double aveugle dans ces deux dernières, pour des durées respectives de 15 et 20 minutes et une intensité de 1,5mA (dans le groupe expérimental). Le groupe contrôle était pour chacune un groupe SHAM et la condition tDCS était donc une mesure non-répétée. Pour les deux études, les participant·e·s jouaient une partie de Cyberball (soit en condition d'inclusion, soit en condition d'exclusion) à partir de 5 minutes avant la fin de ces 15 ou 20 minutes. Ces dernier·e·s devaient ensuite indiquer à quel point le jeu était une expérience douloureuse. Ces deux études suggèrent donc un lien causal entre l'activité du CPFVLd et la douleur sociale ressentie due à l'exclusion subie dans le jeu du Cyberball.

De plus, la régulation de la douleur sociale en cas de visionnage de scènes d'exclusion sociale, grâce à la stimulation anodique en tDCS, est un effet qui s'est révélé efficace même chez des personnes dépressives, les participant·e·s du groupe tDCS active rapportant un niveau d'émotions négatives plus faible que ce qui était constaté dans le groupe SHAM (He et al., 2020).

Aussi, en recevant une stimulation anodique, les participant·e·s exclu·e·s lors du Cyberball présentaient un niveau d'agressivité significativement moins élevé que les SHAM mais aussi que les participant·e·s inclus·e·s, que ce soit en condition SHAM ou en condition active (Riva et al., 2015a). Dans cette étude, l'agressivité pourrait alors être interprétée comme une conséquence de la douleur sociale. Un niveau de douleur diminué grâce à une stimulation tDCS anodique serait alors associé à une agressivité plus réduite.

---

<sup>1</sup> Les coordonnées MNI (58, 30, 8 ; Onoda et al., 2010) étant pourtant bien semblables dans les deux études.

Additionnellement à cela, comme cité plus haut (section 1.1.2.), une étude en stimulation transcrânienne (He et al., 2020), une autre technique de stimulation cérébrale (TMS), a notamment montré qu'une stimulation du CPFVLd diminuait en effet le ressenti aversif en condition de douleur sociale (mais pas en condition de douleur physique) et produisait une réduction de l'amplitude du late positive potential (potentiel évoqué dont l'amplitude dépend de l'intensité d'une émotion). La TMS étant une technique dotée d'une plus grande précision spatiale de stimulation que la tDCS, cette étude semble particulièrement intéressante afin d'apporter davantage de preuves quant à l'effet analgésique de douleur sociale en stimulant le CPFVLd.

### 1.3.2. TDCS et amour

Jusqu'à ce jour, il n'existe – à ma connaissance – pas d'étude portant sur l'effet de la tDCS s'intéressant à quelconque trait lié à l'amour et donc pas non plus sur l'effet analgésique du visionnage d'un indice d'un amoureux ou d'une amoureuse chez son ou sa partenaire en condition de douleur. De ce fait, cette étude pourra permettre d'ouvrir de nouvelles pistes de réflexions concernant le domaine.

## 2. *Expérience*

L'objectif principal de cette étude est de déterminer si l'on peut diminuer le ressenti douloureux provoqué par la douleur sociale (induite à l'aide du cyberball game) en faisant visionner une image de la personne dont le·a participant·e est amoureux·se et si cette diminution peut être accentuée par l'effet de la tDCS sur le CPFVLd. Cette recherche permet parallèlement de vérifier si les résultats obtenus dans les autres études utilisant la tDCS sur cette zone pour influencer sur la douleur sociale peuvent être à nouveau retrouvés. De même pour l'effet apaisant du visionnage de l'image d'un·e partenaire amoureux·se.

### 2.1. PLAN GÉNÉRAL DE L'EXPÉRIENCE

La tDCS a été utilisée pendant 20 minutes pour stimuler de manière anodique le CPFVLd (ce qui correspond à diminuer le seuil de réactivité des neurones, donc faciliter les décharges entre eux dans cette zone), ce pendant quoi – après 5 minutes – les participant·e·s ont été confronté·e·s au jeu du Cyberball. En même temps, sur leur écran paraissait une image de

leur partenaire ou de leur ami·e du même sexe que le·a premier·ère (qu'ils et elles avaient envoyée à l'avance). Pendant cette stimulation, deux parties du jeu du Cyberball étaient jouées par chaque personne : une fois avec l'une des deux images à l'écran et une seconde avec l'autre. Lors d'une autre rencontre avec l'expérimentatrice, la tDCS était prétendument administrée (condition SHAM) aux mêmes participant·e·s, qui jouaient également deux fois au jeu (une fois en présence de chaque image). Chaque condition de chaque mesure était alors administrée à chaque participant·e, constituant donc des mesures répétées (mesure de stimulation et mesure d'image). À la suite de chaque partie, quelques questions étaient systématiquement posées (questionnaire rempli sur ordinateur).

### *3. Hypothèses*

Tout d'abord, il est attendu que l'induction de douleur sociale fonctionne par le biais de l'exclusion au jeu du Cyberball, ce qui est mesurable à l'aide du manipulation check, abordé dans la section 5.3.3.. Cette mesure ne devrait pas différer entre les deux conditions de stimulation (active et factice) et entre les deux conditions d'image (amoureux·se et ami·e). Cependant, il est envisagé que l'effet désagréable de l'ostracisme ou l'effet soulageant de l'image du ou de la bien-aimé·e pourraient respectivement amplifier ou réduire la sensation objective d'avoir été exclu·e.

Deuxièmement, une diminution de la douleur sociale est attendue lors de la stimulation tDCS anodique du CPFVL droit, puisque l'activation de cette zone serait liée à une régulation de l'activité du CCA (qui serait, lui, responsable du ressenti douloureux de l'exclusion sociale), comparé au groupe contrôle tDCS, c'est-à-dire le groupe SHAM.

De plus, la douleur sociale devrait être subjectivement moins forte lorsque le·a participant·e est en présence de l'image de son·sa partenaire.

Ensuite, une interaction entre l'effet de la tDCS et celui du visionnage de l'image du ou de la partenaire est attendue, permettant alors d'obtenir un effet analgésique d'autant plus important, diminuant alors davantage la douleur sociale ressentie chez les participant·e·s exclu·e·s étant en condition active et visionnant l'image de leur partenaire.

Enfin, il est attendu qu'un score plus élevé sur l'échelle d'amour entraîne une analgésie plus importante du fait de voir un indice de son·sa partenaire.

### **3.1. APPORTS À LA LITTÉRATURE**

Dans un premier temps, cette étude devrait permettre de retrouver des effets déjà constatés dans la littérature de chaque fondement utilisé, à savoir :

- La tâche du cyberball induit en effet une douleur sociale
- La tDCS peut permettre de diminuer la douleur sociale ressentie, induite ici par le cyberball game
- Un indice du ou de la partenaire amoureux·se permet de diminuer la sensation douloureuse due à l'exclusion sociale

Cette recherche permettrait également de savoir si des interactions entre les effets cités ci-dessus ont lieu. Cela pourrait permettre de mener vers une meilleure compréhension de l'impact du fonctionnement du cerveau d'une personne amoureuse en présence d'un indice lié à son·sa partenaire et donc d'ouvrir une série de pistes à explorer concernant l'impact de l'amour sur l'humain et sa manière de gérer la douleur sociale. Si cette interaction existe, il pourrait aussi être intéressant d'explorer dans le futur si elle pourrait exister lorsque la douleur ressentie par le·a participant·e est de type physique plutôt que sociale ainsi que de réfléchir aux implications potentielles suscitées, notamment par rapport au manque de consensus sur le sujet dans la littérature, comme développé dans le point 1.1.

## II. MÉTHODES

---

### 4. *Participants*

Les participant·e·s ont principalement été recruté·e·s à l'aide d'annonces sur les réseaux sociaux ainsi que grâce au bouche-à-oreille. L'objectif était de recruter approximativement le même nombre de personnes de genre féminin et masculin par sécurité (pour permettre une vérification) pour les analyses, même s'il semblerait qu'il n'existe pas de différence en tout cas au niveau de l'amour sur l'échelle PLS en fonction du sexe (Feybesse et al., 2015). Cependant, une grande majorité des participant·e·s s'étant proposé·e·s étaient des femmes. La participation s'est faite sur base volontaire puisqu'aucune rémunération n'était prévue à l'issue des séances. Cette dernière commençaient après la lecture des documents d'informations et avoir obtenu le consentement éclairé des participant·e (version de la fiche du Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire en **Annexe 2**).

#### **4.1. ANALYSE DE PUISSANCE**

Une analyse de puissance a été réalisée afin de savoir combien de participant·e·s il convenait de recruter. Cette analyse de puissance était une simulation sur base des données attendues réalisées à l'aide du package *Super-Power* sur le logiciel RStudio (RStudio Team, 2020) et est consultable depuis le lien fourni en **Annexe 9**. L'analyse a révélé que 40 participant·e·s étaient nécessaires pour atteindre une puissance de .90 avec un seuil alpha fixé à .05. Les données attendues ont été motivées par les différentes études portant sur les deux effets principaux investigués dans cette recherche, mentionnés dans la partie introductive. Il reste important de signaler qu'il s'agit de données peu précises sachant qu'aucune de ces études ne s'attardait exactement sur le même sujet (c'est-à-dire, chacun des deux effets étudiés ensemble), n'utilisait donc une méthodologie identique à la présente, ni ne rapportait toutes les données nécessaires (il a donc été nécessaire de se baser sur les graphiques, ne promettant pas une grande précision).

#### **4.2. DONNÉES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES**

Lors de la passation, les participant·e·s ont dû répondre à un questionnaire concernant plusieurs données socio-démographiques à leur propos (voir 6.2.1). Certaines d'entre elles ont été utilisées afin de permettre de savoir si chaque personne pouvait en effet être incluse ou non

dans les analyses. D'autres ont été analysées afin de voir si ces dernières sont des covariantes ou non.

#### **4.3.CRITÈRES D'INCLUSION**

Les participant·e·s devaient être l'un des deux membres d'une relation amoureuse monogame (toutes orientations sexuelles prises en compte). La relation devait durer depuis un minimum de 6 mois (relation à long terme, comme défini dans l'article de Master et al., 2009) et jusqu'à un maximum de 10 ans de manière à éviter au maximum les participant·e·s qui seraient à exclure pour cause de score insuffisant à la PLS (cf. section suivante sur les critères d'exclusion). Les participant·e·s ne pouvaient pas avoir réalisé ou être en train de suivre des études de psychologie (le Cyberball étant discuté dans un cours de bachelier à l'université où se déroulait la recherche et donc supposé connu de ces personnes).

#### **4.4.CRITÈRES D'EXCLUSION**

Plusieurs paramètres ont été déterminés avant le commencement de l'expérience, constituant les critères permettant d'exclure un·e participant·e ne correspondant pas à ce qui est ciblé en menant la recherche.

Tout d'abord, il était prévu (voir document de préenregistrement en **Annexe 10**) que les participant·e·s ayant obtenu un score inférieur à 90 sur l'échelle de la PLS soient exclu·e·s des analyses parce qu'arbitrairement considéré·e·s comme « pas suffisamment amoureux·ses », ce score constituant le score seuil arbitraire notamment utilisé dans l'étude de Young et al. (2010). Cependant, il a été remarqué que ce seuil était valable pour la version courte de l'échelle et non pas la version longue, utilisée ici. Par conséquent, il a été décidé de n'exclure aucun·e des participant·e·s parce qu'aucun·e n'avait obtenu un score considéré comme inférieur à la classification « Élans de passion occasionnels » et la quasi-totalité avaient obtenu un score correspondant à « Amour sauvage et insouciant » (n = 30) ou à « Passionné mais moins intense » (n = 8), selon la classification des auteurs à la source du développement de l'échelle (Hatfield & Sprecher, 2010).

Ensuite, si les participant·e·s indiquaient ne pas être impliqué·e·s dans leur relation amoureuse depuis plus de 6 mois jusqu'à moins de 10 ans, leur participation n'était pas prise en compte. Aucun·e participant·e n'a dû être exclu·e pour cette raison.

Si une personne décidait de mettre fin à sa participation sans avoir complété l'entièreté du protocole, les données n'étaient pas prises en compte. Aucun·e participant·e n'a désiré retirer sa participation avant la fin de l'expérience.

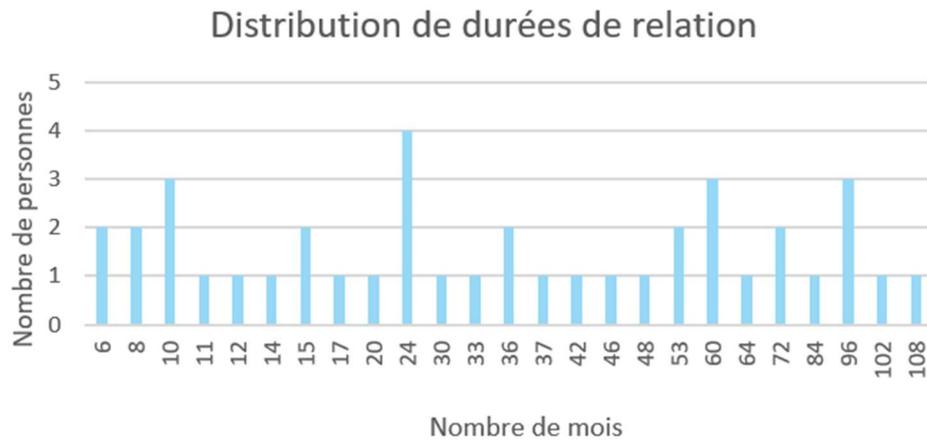
De manière imprévue, des problèmes au niveau du protocole ont été détectés lors du passage de la première personne ayant participé. Ses données (une seule session) n'ont donc pas pu être retenues.

#### **4.5.ÉCHANTILLON**

40 participant·e·s ( $M_{\text{âge}} = 23,4 \pm 6,062$ ) ont été recruté·e·s afin de satisfaire la puissance calculée (voir section 4.1.). L'échantillon était composé de 27 femmes et de 13 hommes. Ces personnes étaient impliquées dans une relation amoureuse depuis 6 mois à 9 ans ( $M = 3,421$  ans  $\pm 2,56$ ). Personne ne suivait ou n'avait suivi d'études en psychologie. Les informations démographiques sont recueillies dans la **Table 1** ainsi que dans la **Figure 2**.

		Nombre (sauf quand M et ET indiqués)	
<b>Sexe</b>	F	27	
	H	13	
<b>Âge</b>		M = 23,4	ET = 6,062
<b>Durée moyenne de la relation</b>		M = 41,05	ET = 30,7129
<b>Trouble psychiatrique passé ou présent</b>	Non	38	
	Oui	2	
<b>Occupation</b>	Employé.e	12	
	Indépendant.e	2	
	Ouvrier.ère	1	
	Étudiant.e	25	
<b>Niveau d'éducation</b>	Secondaire inf	1	
	Secondaire sup	11	
	Bachelier	13	
	Master/Doctorat	15	

**Table 1.** Données démographiques concernant l'échantillon. *Secondaire inf* = cycle secondaire inférieur ; *Secondaire sup* = cycle secondaire supérieur ; *M* = moyenne ; *ET* = écart-type.



**Figure 2.** Large diversité de durées de relation des participant·e·s, indiquées en nombre de mois de relation amoureuse avec le·a partenaire actuel·le ([6 mois ; 9 ans]).

## 5. Plan expérimental

L'expérience s'est faite sous format 2 (stimulation : tDCS anodique actif ou SHAM) x 2 (image : partenaire romantique ou ami·e). Et chaque participant·e a donc été soumis·e à deux variables différentes.

Chaque participant·e était exposé·e aux deux conditions de stimulation (tDCS anodique ou SHAM) : une moitié de l'effectif ( $n = 20$ ) a reçu la première condition lors d'une première session et la seconde durant la deuxième session, et au contraire l'autre moitié de l'effectif recevait d'abord la seconde condition lors de la première session avant de recevoir la première condition lors de la deuxième session. Ceci correspondait à un contrebalancement et les participant·e·s étaient assigné·e·s à ces ordres de manière aléatoire. Les deux sessions étaient séparées par environ une semaine en fonction des disponibilités des participant·e·s.

Durant chaque session, tou·te·s les participant·e·s ont été soumis·es aux deux modalités de la variable image, de manière contrebalancée entre les deux sessions. Ils ou elles observaient alors soit d'abord une image de leur partenaire romantique, soit de leur ami·e (du même sexe que leur partenaire) avant celle de l'autre. L'inverse était vrai pour leur seconde session. L'ordre de visionnage des images était déterminé aléatoirement, de la même manière que l'ordre de stimulation.

Lors de chaque partie, les participant·e·s étaient soumis·es à une exclusion du jeu par les autres joueurs. Après chacune des parties jouées, les participant·e·s devaient encore répondre à trois échelles visuelles analogues (VAS) sur le sentiment de présence de la personne représentée par l'image durant le jeu, le pourcentage auquel la balle leur a été attribuée, ainsi que leur ressenti d'inconfort. Une échelle de Likert servait à évaluer leur niveau d'implication dans la

partie. La version française de l'échelle PANAS (Gaudreau et al., 2006) devait également être complétée. En fin de session, ils ou elles devaient remplir un premier questionnaire consistant en l'évaluation des sensations corporelles désagréables provoquées par la tDCS. Ces échelles sont toutes recensées dans la section **6.2**.

## **5.1.CONDITIONS IMAGES**

### **5.1.1. Condition expérimentale (image du de la partenaire)**

Dans la condition expérimentale « image du de la partenaire », l'une des photos du de la partenaire que chaque participant·e a envoyée préalablement apparaissait sur l'écran pendant la tâche. Les consignes leur demandaient également d'imaginer la présence de leur partenaire.

### **5.1.2. Condition contrôle (image de l'ami·e)**

La condition permettant de contrôler pour l'image était le visionnage d'un visage du ou de la meilleur·e ami·e du ou de la participant·e. Cet·te ami·e devait être du même sexe que le·a partenaire. Ces photographies ont été sélectionnées parmi trois images préalablement envoyées par les participant·e·s, tout comme pour la condition expérimentale image, qui diffèreraient le moins possible de l'image du ou de la partenaire utilisée pour chaque participant·e. La consigne étant la même qu'en condition expérimentale, iels avaient pour consigne d'imaginer la présence de cet·te ami·e à leurs côtés.

## **5.2.tDCS**

### **5.2.1. Condition expérimentale (tDCS active)**

La stimulation anodique correspondait à la condition active de stimulation. Les électrodes étaient placées de la manière décrite dans le point **6.4**, afin de stimuler le cortex préfrontal dorsolatéral droit. La stimulation durait pendant 20 minutes en commençant par un fade-in de 30 secondes (augmentation progressive de la stimulation jusqu'à arriver à 1,5mA) et en se terminant par un fade-out (diminution progressive du courant jusqu'à l'arrêt total de la stimulation). La tâche en elle-même commençait après 5 minutes de stimulation et durait environ 3 minutes 30 secondes, faisant place aux premières questions avant de reprendre une seconde fois pour la même durée (suivi à nouveau du questionnaire).

### 5.2.2. Condition contrôle (SHAM)

Lors de leur session tDCS dans la condition contrôle, les participant·e·s ne recevaient pas la stimulation pendant les 20 minutes mais avaient tout de même l'appareillage placé sur le crâne pendant la même durée et le même courant (1,5mA) était induit pendant 30 secondes en début d'expérience (précédé d'un fade-in de 30 secondes et suivi d'un fade-out de 30 secondes) pour que la personne ressente un léger pététillement et ne sache pas qu'elle ne recevait pas réellement la stimulation.

### **5.3. PRÉCAUTIONS EXPÉRIMENTALES**

Lors de la passation, seule l'expérimentatrice savait si le sujet était en effet stimulé par le courant tDCS ou s'il était placé dans le groupe SHAM, grâce au matériel de stimulation (**Figure 5**). Le faible courant induit au début du temps passé avec les électrodes sur le crâne permettait de s'assurer que le·a participant·e ne puisse pas savoir s'il·elle avait en effet reçu la stimulation active ou SHAM (dans tous les cas, il leur était dit qu'ils la recevaient). Cette variable était donc soumise en simple aveugle.

### **5.4. CONDITIONS DE PASSATION**

Les participant·e·s ont été testé·e·s dans la même pièce insonorisée et à température constante dans laquelle ils étaient seul·e·s avec l'expérimentatrice. Toutes les séances ont eu lieu entre 8h00 le matin et 20h30 le soir.

Un seul problème technique a eu lieu pendant les 80 séances de testing analysées : lors de la seconde séance (tDCS active) d'une personne, l'entraînement a été lancé une seconde fois par erreur (avec l'image du premier bloc déjà présente à l'écran). Le premier bloc a donc commencé à la fin du second entraînement, environ 6 minutes 30 après le début de la stimulation (contrairement aux 5 minutes pour toutes les autres sessions).

Toutes les remarques de chaque personne à la fin des deux séances de testing sont recensées dans l'**Annexe 12**.

### **5.5. ÉTHIQUE**

La recherche a reçu l'accord favorable du Comité d'Éthique de la Faculté de Psychologie de l'Université de Liège. L'accord du Comité d'Éthique Hospitalo-Facultaire avait également été obtenu pour la réalisation de cette étude. Une assurance auprès d'Ethias a été soumise.

## 6. Procédure

### 6.1. DÈS LE RECRUTEMENT

Lorsque qu'un individu acceptait de participer à l'étude, un lien lui était envoyé via la plateforme de communication utilisée pour la prise de contact avec l'expérimentateur·trice. Ce lien menait vers un questionnaire en ligne reprenant tout d'abord la lettre d'information et de consentement éclairé, suivi d'un questionnaire socio-démographique (cf. section 6.3.1). Enfin, il était demandé à chaque personne d'envoyer par e-mail ses trois photos préférées de son ou sa partenaire en ayant pour consigne d'en choisir où ce·tte dernier·ère était seul·e sur l'image et où son visage était bien visible. La même consigne était d'application pour le même nombre de photos du ou de la meilleure ami·e (ou ami·e le ou la plus proche si pas de « meilleur ami·e ») du ou de la participant·e, le sexe de cet ami·e correspondant à celui de leur partenaire romantique. Le fait de demander plusieurs images de chaque identité avait pour but de pouvoir en choisir une de chaque correspondant le mieux entre elles, afin de minimiser autant que possible les autres différences que la valeur émotionnelle de l'amoureux·se de son image par rapport à celle de l'ami·e (cf. section 5.1.3.). N'ayant pas suffisamment de temps et de ressources pour organiser l'obtention de photographies standardisées des deux partenaires sociaux·ales de chaque participant·e dans le contexte d'un mémoire, il a été décidé de demander que ce soient les photos préférées qui soient choisies afin de maximiser l'effet émotionnel positif des images. Cette maximisation d'effet positif est d'ailleurs potentiellement plus utile que des images standardisées étant donné que le contexte étudié dans cette recherche est émotionnel et non pas de traitement du visage à proprement parler.

### 6.2. QUESTIONNAIRES

#### 6.2.1. Questionnaire socio-démographique

Un questionnaire était administré à chaque participant·e afin d'obtenir les données socio-démographiques le·a concernant pour pouvoir notamment vérifier si les conditions d'inclusion et d'exclusion étaient remplies. Les questions demandaient aux participant·e·s de fournir les informations suivantes les concernant :

- Leur code anonymisant les données (donné par l'expérimentatrice) ;
- Leur âge ;
- S'ils étaient actuellement impliqué·e·s dans une relation amoureuse ;

- Si oui, depuis combien de temps iels entretenaient cette relation amoureuse avec leur partenaire romantique actuel·le (en année·s ou en mois) ;
- S’iels avaient déjà souffert d’un trouble psychiatrique diagnostiqué par un professionnel de la santé ;
- Leur occupation professionnelle actuelle,
  - Le domaine étudié (si étudiant·e) ;
- Le plus haut niveau d’études atteint ;
- Les trois photographies préférées de leur partenaire romantique ;
- Les trois photographies préférées de leur meilleur·e ami·e du même sexe que la personne avec qui iels entretenaient une relation amoureuse.

### 6.2.2. PLS

La Passionate Love Scale dans sa version française est une échelle de 30 affirmations (Feybesse et al., 2015). Pour chacune d’entre elles, le·a participant·e devait indiquer sur une échelle de 1 à 9 à quel point iel s’accordait à ces dernières lorsqu’iel pensait à la personne dont iel est amoureux·se. Cette échelle avait montré de bons indices de validité lors de sa validation en français dans la thèse de Feybesse et collaborateur·trice·s (2015). La consistance interne de 0,94, mesurée par l’alpha de Cronbach, indique que cette dernière était excellente.

Ce questionnaire (**Annexe 14**) a été soumis aux participant·e·s sur l’ordinateur avant de leur installer le matériel sur le crâne. Il permettait non seulement de vérifier les conditions d’inclusion et d’exclusion mais également d’être intégré aux analyses statistiques (de manière exploratoire) dans le but de voir si un score plus élevé à cette échelle permet d’obtenir un effet plus fort d’analgésie en voyant l’image de la condition expérimentale, par rapport à celle de la condition contrôle.

L’alpha de Cronbach du présent échantillon ( $\alpha = 0,89$ ) est satisfaisant malgré la taille de l’échantillon. En effet, sa valeur est supérieure à 0,70, seuil à partir duquel l’indice peut être considéré comme acceptable. La consistance interne de cette échelle semble donc bonne.

### 6.2.3. VAS et questions supplémentaires

Les VAS et autres questions devaient être remplies dans un questionnaire sur l’ordinateur après la fin de chaque partie (**Annexe 4**). Le pourcentage déterminé par la position sur le continuum de chaque VAS n’était pas indiqué afin que les participant·e·s se fient autant que possible à leur impression générale.

Une première VAS était utilisée afin de voir à quel point chaque participant·e avait ressenti la présence de son ou sa partenaire pendant la tâche, allant de 0 à 100%.

Une seconde question évaluait à quel niveau la personne estimait son niveau d'implication dans la tâche sur une échelle de Likert allant de 1 ('pas du tout impliqué') à 7 ('très impliqué').

La VAS suivante avait pour but de vérifier que les participant·e-s avaient en effet perçu leur statut d'exclusion pendant la partie (manipulation check). Ils ou elles devaient indiquer à quel pourcentage iels avaient eu l'impression de recevoir la balle (0 à 100%).

Ensuite, sur la page suivante, une VAS allant de 0 à 100 était destinée à mesurer le degré d'inconfort, de malaise ou de souffrance pendant le jeu auquel iels avaient pris part (variable dépendante du modèle principal).

#### 6.2.4. PANAS

Après avoir complété les questions mentionnées dans le point précédent, les participant·e-s passaient à la page suivante, sur laquelle leur était présenté le questionnaire PANAS (Positive And Negative Affect Scale, initialement développée par Watson et al., 1988) dans sa version française (Gaudreau et al., 2006). Cette échelle est composée de 10 items évaluant les émotions positives et de 10 items évaluant les émotions négatives. Les items sont des adjectifs d'affects de valence positive ou négative pour lesquelles les participant·e-s doivent indiquer à quel point iels ressentent ces derniers sur une échelle de 1 (= 'peu ou pas du tout') à 5 (= 'totalelement').

#### 6.2.5. Questionnaire sur les effets secondaires liés à l'application de la tDCS

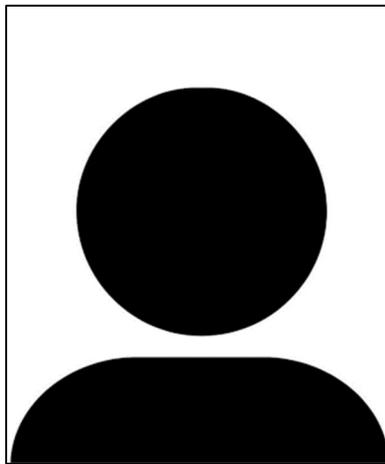
Toujours sur ordinateur, un questionnaire portant sur les effets secondaires possibles occasionnés par la tDCS était rempli par les participant·e-s, en fin de chaque session. Ce questionnaire est constitué de 10 symptômes potentiels (et une case « autre », avant un espace libre pour d'éventuelles notes supplémentaires), pour lesquels les participant·e-s doivent indiquer l'intensité de chacun d'entre eux sur une échelle allant de 1 (= 'aucune') à 4 (= 'importante') ainsi que le lien de ces symptômes ressentis avec la stimulation (de 1 = 'aucun' à 5 = 'certain'). Ce questionnaire a été traduit d'après le questionnaire proposé par Brunoni et collègues en 2011. La version traduite peut être trouvée en **Annexe 5**.

## **6.3.IMAGES**

### **6.3.1. Standardisation des photographies**

Les images sélectionnées étaient, parmi les trois envoyées de chaque partenaire social-e d'un-e même participant-e, celles qui correspondaient le mieux entre elles au niveau des expressions faciales, de l'angle de vue, etc.

Chaque image était traitée avec le logiciel Gimp (gimp.org) afin de placer le visage au centre de l'image, qu'il apparaisse droit sur la photographie et qu'il soit l'objet principal de l'image (voir la **Figure 3**). La taille de chaque image était dimensionnée en 325x388px pour une résolution de 150pixels/in (correspondant à une taille d'environ 5,03 cm sur 6,57 cm), de manière que le visage soit aussi centré que possible et avec une résolution suffisamment nette.



***Figure 3** : Représentation de l'image de chaque individu (ami-e et amoureux-se) après traitement de taille et d'orientation. NB : cette représentation d'image était, pendant chaque entraînement, à la place où les participant-e-s allaient voir apparaître les réelles photographies pendant la tâche.*

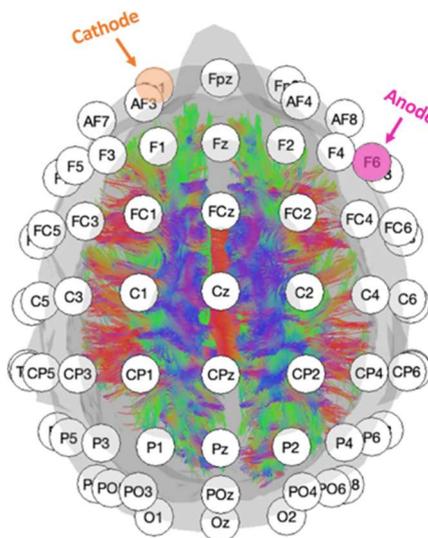
### **6.3.2. Affichage de l'image sur l'écran**

L'image découpée comme décrit dans le point précédent, apparaissait sur le haut au centre de l'écran d'ordinateur (de 13 pouces). La procédure par laquelle cette action était possible était la réalisation d'un fond d'écran différent pour chaque image utilisée. Pour ce faire, PowerPoint (Microsoft 365) était employé : un rectangle noir de la taille de l'écran était utilisé, sur lequel était ajoutée chaque photographie (une par une) dont l'arrête haute était placée en alignement avec celle du rectangle, et au centre de ce dernier grâce aux repères centraux fournis par PowerPoint. L'image ainsi que le rectangle étaient sélectionné·e·s et enregistré·e·s en tant qu'image par la commande disponible par un clic-droit. Pour toute question supplémentaire, l'**Annexe 11** contient les informations de la personne de contact.

#### 6.4. TDCS

Par contrainte de faisabilité, cette étude utilisait uniquement une stimulation anodique et un groupe SHAM (qui ne reçoit pas de stimulation), sans utiliser la stimulation cathodique pour tester l'effet inverse. En effet, tester l'effet en stimulation cathodique aurait drastiquement augmenté l'effectif nécessaire afin d'obtenir une puissance statistique satisfaisante et cela n'aurait pas été réalisable dans le cadre d'un mémoire.

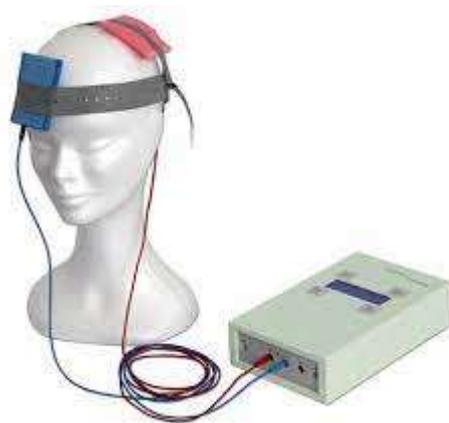
Le choix de positionnement des électrodes était inspiré par plusieurs articles portant sur l'utilisation de la tDCS dans le cadre de la douleur sociale (He et al., 2018, Riva et al. 2015a ; Riva et al., 2015b). Ce choix a été largement influencé par les arguments avancés dans l'article de Riva et al. (2015a). L'électrode stimulante, l'anode ici, était donc placée en F6 et la seconde (électrode de référence, cathode) au niveau de l'aire subcorticale controlatérale en Fp1 (selon le système de positionnement EEG international 10/20). La **Figure 4** aide à visualiser le positionnement des électrodes sur le scalp.



**Figure 4** : Représentation schématique du système de positionnement EEG international 10/20. Mise en évidence de la position de l'anode en F6 et de la cathode en Fp1. Schéma repris de Babaeeghazvini et al. (2021) et adapté.

L'anode (d'une surface de 25 cm<sup>2</sup>) et la cathode (25 cm<sup>2</sup> de surface), électrodes en caoutchouc, étaient appliquées sur le scalp au travers d'éponges à électrodes préalablement trempées dans une solution saline (NaCl 0.9mg/1000ml). Ces électrodes étaient alors reliées au boîtier tDCS (batterie génératrice de courant continu).

L'appareillage tDCS utilisé (DC-STIMULATOR, NeuroConn, Ilmenau, Germany ; **Figure 5**) permettait d'effectuer l'expérience en simple aveugle : l'expérimentatrice savait, au moment de la passation d'un·e participant·e si cette dernière faisait partie du groupe expérimental de stimulation ou du groupe contrôle (lançait donc l'un ou l'autre programme). Un design en double aveugle aurait été possible mais plus complexe à mettre en place (aurait nécessité l'intervention d'une personne externe). De plus, étant donné que les mesures ne demandaient pas l'intervention de l'expérimentatrice, il est supposé que le fait que le blinding ne soit que simple n'est pas grandement problématique. D'ailleurs, il n'existe pas forcément de différence entre les résultats d'études utilisant un simple ou un double blinding (c'est par exemple le cas dans la méta-analyse de Chen et al., 2022). De plus, aucun·e participant·e n'avait deviné, pendant la durée d'une stimulation SHAM, qu'ils n'avaient pas réellement reçu de stimulation (voir contenu de l'**Annexe 12**). Seuls les participant·e·s étaient donc aveugles quant au type de stimulation qu'ils recevaient. C'est seulement lors du débriefing (à la fin des deux sessions) qu'il leur était dévoilé qu'ils avaient reçu ces deux types de stimulation (débriefing complet disponible à la lecture dans l'**Annexe 8**). Comme expliqué dans les points [5.2.1](#) et [5.2.2](#), lorsque les participant·e·s recevaient la stimulation contrôle, un courant de 1,5 mA était induit pendant 30 secondes (fade-in de 30 secondes, fade-out de 30 secondes) sur les 20 minutes passées avec les électrodes placées et « actives » afin qu'ils aient la sensation de recevoir une stimulation. En revanche, en condition expérimentale cette stimulation de 1,5 mA était délivrée pendant la totalité de ces 20 minutes (après un fade-in de 30 secondes en début de stimulation et suivi d'un fade-out de 30 secondes après les 20 minutes écoulées).



**Figure 5** : Machine tDCS utilisée (DC-STIMULATOR, NeuroConn) pour stimuler le cerveau des participant·e·s au travers du scalp.

## **6.5.CYBERBALL GAME**

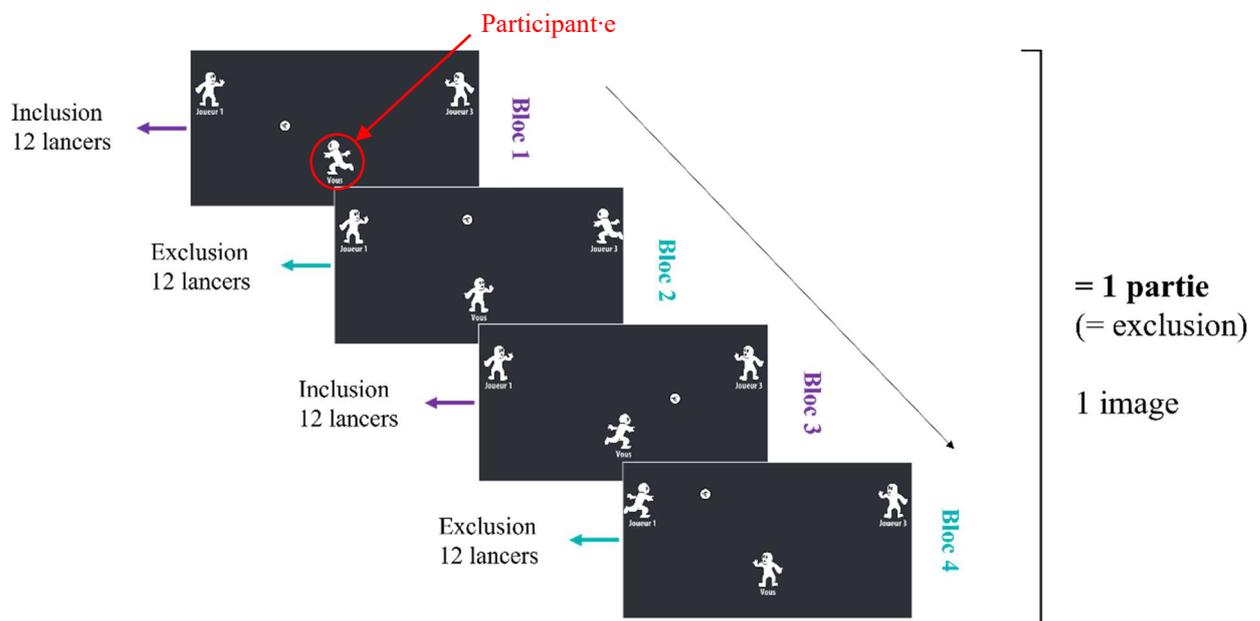
### **6.5.1. Aspects techniques**

Un design en blocs a été utilisé. Il semblerait que ce type de design permette bien de distinguer une condition d'inclusion et une d'exclusion sociale au niveau des réponses comportementales (par exemple mesure de détresse) et que les activations cérébrales diffèrent en effet entre ces dernières (Bolling et al., 2011). Ceci signale alors qu'un tel design permettrait bien d'induire l'exclusion sociale et les comportements et cognitions sous-jacent·e·s recherché·e·s dans le cadre de cette étude. L'exclusion des participant·e·s a donc été réalisée par 4 blocs successifs d'inclusion et d'exclusion. Lors de chaque session (1 et 2), chaque participant·e était soumis·e à deux parties de Cyberball (chacune composée de 2 blocs d'inclusion et 2 blocs d'exclusion, en quinconce, mais représentant en somme deux parties d'exclusion). Les blocs étaient répartis de sorte que le premier bloc rempli soit un bloc d'inclusion avant d'être présentés en alternance, afin que le dernier bloc présenté soit un bloc d'exclusion. Chaque bloc était composé de 12 lancers et avait été aléatoirement généré par le logiciel du Cyberball. Voir **Figure 6**. Les durées des intervalles entre les lancers de ballon des deux joueurs « en ligne » (voir **Annexe 3** et **Annexe 6**) ont été réduites aléatoirement à 3 ou 4 secondes si celles-ci faisaient ou dépassaient 5 secondes pour ne pas risquer de donner l'impression aux participant·e·s que le jeu rencontrait un bug informatique. Deux versions du jeu avaient été (toujours aléatoirement) réalisées par le logiciel afin que les deux parties d'un·e même participant·e, lors d'une même session, ne soient pas identiques et ne soulèvent pas trop de suspicion de leur part (sur le fait qu'il ne s'agit en fait pas d'un jeu en ligne comme indiqué dans la consigne, mais bien d'un logiciel préprogrammé).

Durant chaque partie, une seule image était présentée à l'écran (partenaire romantique ou ami·e). Chaque participant·e était alors exposé·e, lors des deux sessions, à deux parties de cyberball : l'une où l'image de son ou sa partenaire romantique apparaissait à l'écran, l'autre où c'était celle de son ami·e qui était affichée (chaque fois en haut au centre de l'écran, comme montré dans la **Figure 7**). L'ordre de ces parties était aléatoirement déterminé.

Les participant·e·s commençaient par un entraînement au jeu pour une durée de 16 lancers (environ une minute et demie de jeu en étant inclus) après le début de la stimulation (lors des deux sessions), afin de s'assurer leur bonne compréhension la tâche ainsi qu'induire le fait qu'ils sont censé·e·s être inclus·es dans le jeu. Ensuite, une fois le jeu bien compris (ou le principe de ce dernier remis en mémoire) et les cinq premières minutes écoulées, les participant·e·s commençaient à jouer la première partie de la session. Chacune des parties était

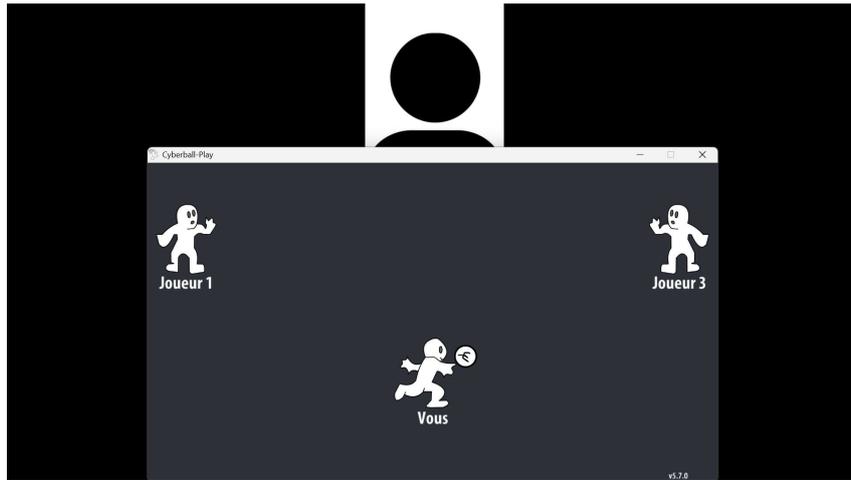
composée de 4 blocs alternant entre condition d'inclusion et d'exclusion. 2 blocs étaient donc des blocs d'inclusion et l'autre moitié d'exclusion. Un bloc comprenait 12 lancers. Lors d'un bloc d'inclusion, le·a participant·e recevait la balle 1/3 du temps (c'est-à-dire de manière équitable). Lors d'un bloc d'exclusion, la balle n'était jamais reçue par ce·tte dernier·ère. Au total, les participant·e·s recevaient alors la balle dans une proportion d'environ 13,5%. À la fin de chacune des deux parties, un questionnaire comprenant les VAS, questions et la PANAS mentionnées dans les sections 6.3.3. et 6.3.4. Le questionnaire complet post-partie est joint en **Annexe 4**.



**Figure 6.** Contenu d'une partie du jeu du Cyberball. Chaque partie, pendant laquelle une seule image (de l'ami·e ou de l'amoureux·se) était affichée à l'écran, était composée de 2 blocs d'inclusion et de 2 blocs d'exclusion, se suivant successivement en alternance. Une partie correspondait en définitive à de l'exclusion. Un questionnaire suivait une partie.

#### 6.5.2. Affichage de l'image sur l'écran de jeu

Quelques millimètres du bas de l'image étaient cachés par la fenêtre du jeu du Cyberball. Le fond d'écran derrière l'image et derrière la fenêtre de jeu était donc noir uni. La **Figure 7** illustre l'écran type auquel un·e participant·e était confronté·e pendant sa participation au jeu du Cyberball. L'image restait présente pendant toute la durée de la partie dans la partie supérieure de l'écran.

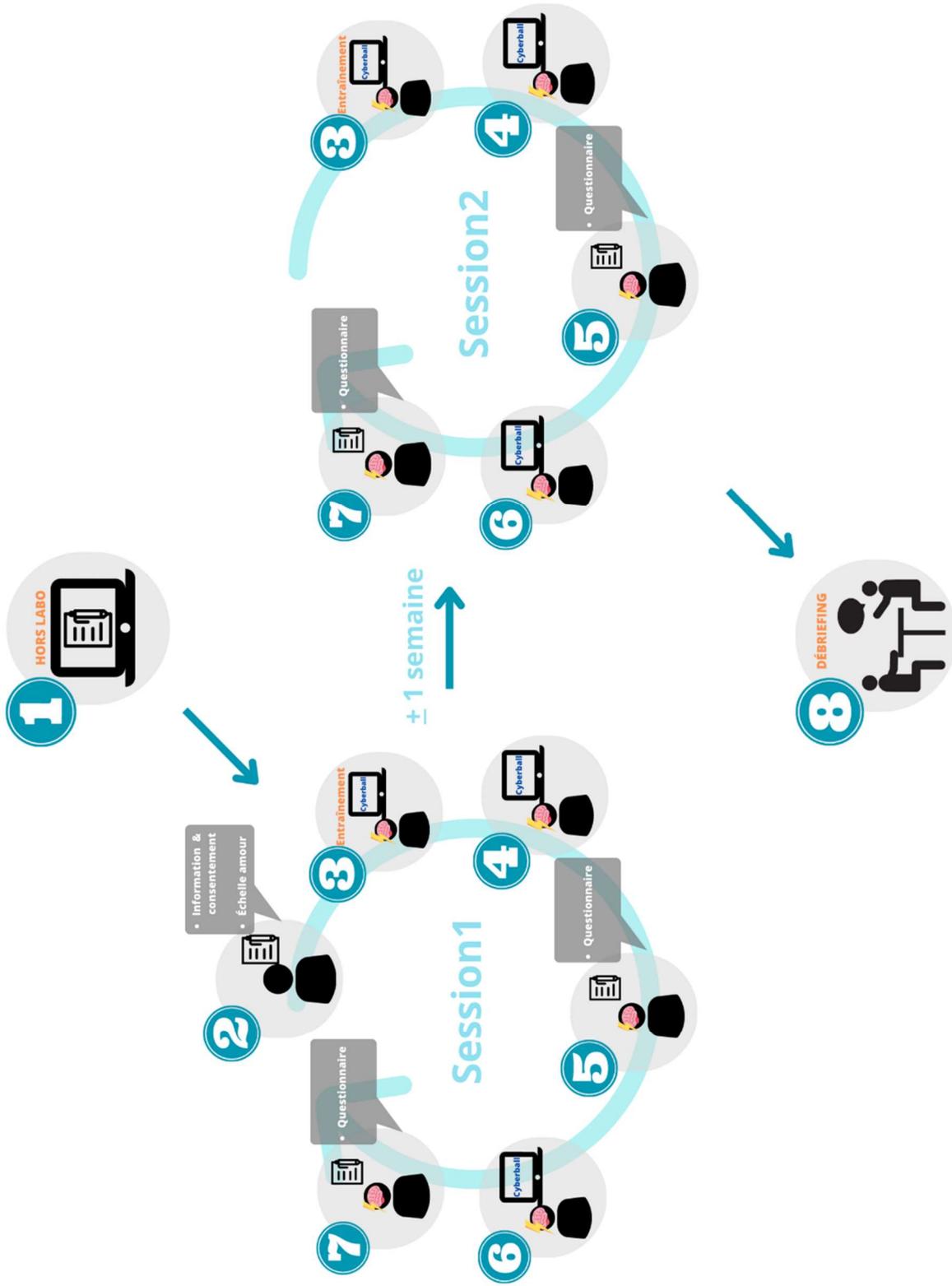


*Figure 7. Représentation de l'écran d'un-e joueur-euse. La photographie du partenaire ou de l'ami-e, standardisée, apparaît au centre sur la partie supérieure de l'écran.*

## **6.6. RÉSUMÉ**

Au total, chaque personne remplissait donc une fois chacune des 4 conditions dans l'un des 8 ordres aléatoires possibles (puisque'il existait 2 ordres de stimulation, 2 ordres de présentation d'images ainsi que 2 ordres de versions de parties de jeu).

La **Figure 8** représente un résumé global de l'expérience. Un résumé sous forme linéaire écrite est renseigné en **Annexe 1**.



**Figure 8** : Résumé schématique de la procédure à laquelle chaque participant-e était confronté-e. La session 1 était sous stimulation anodique pour la moitié des participants (la seconde sous SHAM), inversement pour l'autre. Au sein d'une session, la moitié des participant-e-s voyaient l'image de leur ami-e à l'étape 4 et celle de leur amoureux-se à l'étape 6 et l'inverse lors de la seconde session, l'opposé était vrai pour l'autre moitié des participant-e-s.

## 7. *Analyses des données*

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel JASP (JASP Team, 2023). Nombre d'analyses ont été réalisées (certaines étant prévues, d'autres non) mais seulement une partie sont rapportées ici dans un intérêt de concision et de compréhensibilité. Seules les analyses principalement intéressantes sont présentes dans l'écrit principal du mémoire, les autres figurent dans l'**Annexe 13**.

Comme référencé dans le document de préenregistrement (**Annexe 10**), l'analyse principale effectuée était une ANOVA à mesures répétées 2 (stimulation : anode vs. SHAM) x 2 (image : ami·e vs. amoureux·se) sur la douleur sociale (variable dépendante VD). Des t-tests pairés ont ensuite été effectuées entre chacune des quatre conditions (à savoir : FA = ami·e, anode ; LA = amoureux·se, anode ; FS = ami·e, sham ; LS = amoureux·se, sham) pour permettre une compréhension plus fine des résultats (disponibles en **Annexe 13**).

Tout comme prévu dans le préenregistrement, une ANOVA semblable à la principale a également été réalisée en considérant les émotions négatives comme VD. Cette analyse exploratoire prévue était donc une ANOVA à mesures répétées 2 (stimulation : anode vs. SHAM) x 2 (image : ami·e vs. amoureux·se).

En ce qui concerne les analyses exploratoires non-prévues dans le préenregistrement mais figurant dans cette partie principale de ce mémoire, leur description figure directement au début des sections les concernant.

L'entièreté des analyses prévues sont recensées dans le préenregistrement (voir **Annexe 10**).

### III. RÉSULTATS

---

Conformément au préenregistrement (sur OSF) visible en **Annexe 10**, une partie des analyses statistiques des données prévues sont rapportées dans cette section, ainsi que d'autres analyses exploratoires (menées en post-hoc, basées notamment sur les commentaires des participant·e·s). Les données individuelles sont disponibles sur demande, voir **Annexe 11** pour l'adresse mail à contacter.

Le reste des analyses réalisées mais non rapportées dans cette partie principale du mémoire sont consultables dans l'**Annexe 13**.

NB : constatant un manque de normalité des données, une transformation  $\log(10)$  a été appliquée pour voir si une distribution normale pouvait être obtenue. N'étant pas le cas, les données initiales ont été gardées pour les analyses.

#### 8. Tableaux récapitulatifs des données descriptives (sections 9., 10. et 11.)

		% perçu	Douleur sociale	Émotions négatives	Émotions positives
Ami.e, Anode	M	24.000	23.000	14.200	24.800
	$\sigma^2$	15.839	26.220	5.307	6.358
Amoureux.se, Anode	M	23.450	14.075	13.600	28.500
	$\sigma^2$	12.824	19.929	4.824	6.118
Ami.e, SHAM	M	23.350	15.100	13.025	24.800
	$\sigma^2$	12.267	19.331	4.092	6.646
Amoureux.se, SHAM	M	23.225	15.825	13.725	28.750
	$\sigma^2$	14.916	22.296	4.685	6.632

**Table 2.** Moyennes et écarts-types de pourcentage perçu de réception de balle, de douleur sociale et d'émotions négatives et positives dans chaque condition.  $M$  = moyenne,  $\sigma^2$  = écart-type.

		% perçu	Douleur sociale	Émotions négatives	Émotions positives
Ami.e, Anode	IC inf.	19.781	16.011	12.786	23.107
	IC sup.	28.219	29.989	15.614	26.493
Amoureux.se, Anode	IC inf.	20.033	8.766	12.314	26.871
	IC sup.	26.867	19.384	14.886	30.129
Ami.e, SHAM	IC inf.	20.081	9.951	11.935	23.029
	IC sup.	26.619	20.249	14.115	26.571
Amoureux.se, SHAM	IC inf.	19.252	9.886	12.477	26.983
	IC sup.	27.198	21.764	14.973	30.517

**Table 3.** Intervalles de confiances à 95% de certitude pour chaque moyenne de la **Table 2** (calculées à la main). IC inf. = valeur inférieure de l'intervalle de confiance. IC sup. = valeur supérieure de l'intervalle de confiance.

## 9. Induction de douleur sociale : pourcentage perçu de réception de balle

### 9.1. MANIPULATION CHECK

Pour vérifier que les participant·e·s s'étaient bien rendu compte qu'ils avaient été exclu·e·s du jeu, le pourcentage de sensation d'avoir reçu la balle a été étudié. En moyenne, les participant·e·s ont eu l'impression d'être inclu·e·s à 23,506% durant le jeu d'échanges de balles. Ce chiffre étant inférieur aux 33% qui représenterait un ressenti d'équité dans les échanges et ferait donc penser que les participant·e·s s'étaient objectivement rendu compte de leur exclusion.

### 9.2. PERCEPTION DE L'EXCLUSION

Une ANOVA à mesures répétées 2 (stimulation : anode vs. SHAM) x 2 (image : ami·e vs. amoureux·se) a été effectuée afin de vérifier que ces pourcentages ne différaient pas entre chacune des quatre conditions (FA, LA, FS et LS<sup>2</sup> ; voir **Table 4** et **Figure 9**). Ceci a également été effectué afin de détecter, de manière exploratoire, si la tDCS anodique, l'image du/de la partenaire ou leur combinaison pourraient influencer la perception de l'exclusion elle-même. Le manque de significativité de ces effets indique que ce n'est pas le cas. La proportion de perception de possession de balle ne différait en effet ni en fonction du type de stimulation reçue ( $F = 0,049$  ;  $p = 0.826$  ;  $\eta^2 = 4.035 \times 10^{-4}$ ), ni en fonction de l'image présentée ( $F = 0,020$  ;

<sup>2</sup> FA = image de l'ami·e, stimulation anodique ; LA = image de l'amoureux·se, stimulation anodique ; FS = image de l'ami·e, stimulation SHAM ; LS = image de l'amoureux·se, stimulation SHAM

$p = 0.887$  ;  $\eta^2 = 2.401 \times 10^{-4}$ ). Elle ne différait pas non plus entre les quatre combinaisons possibles (FA, LA, FS et LS ;  $F = 0,017$  ;  $p = 0.896$  ;  $\eta^2 = 9.520 \times 10^{-5}$ ). Dans toutes les conditions, les participant·e·s ont donc en moyenne perçu recevoir la balle en proportions équivalentes. Étant donné qu'il s'agit d'une analyse exploratoire décidée a posteriori, aucune correction de l'alpha n'a été appliquée ( $\alpha = 0,05$ ). Les statistiques descriptives sont recensées dans le précédent point 8.

Within Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Stimulation	7.656	1	7.656	0.049	0.826	$4.035 \times 10^{-4}$
Residuals	6128.594	39	157.143			
Image	4.556	1	4.556	0.020	0.887	$2.401 \times 10^{-4}$
Residuals	8723.694	39	223.684			
Stimulation * Image	1.806	1	1.806	0.017	0.896	$9.520 \times 10^{-5}$
Residuals	4107.444	39	105.319			

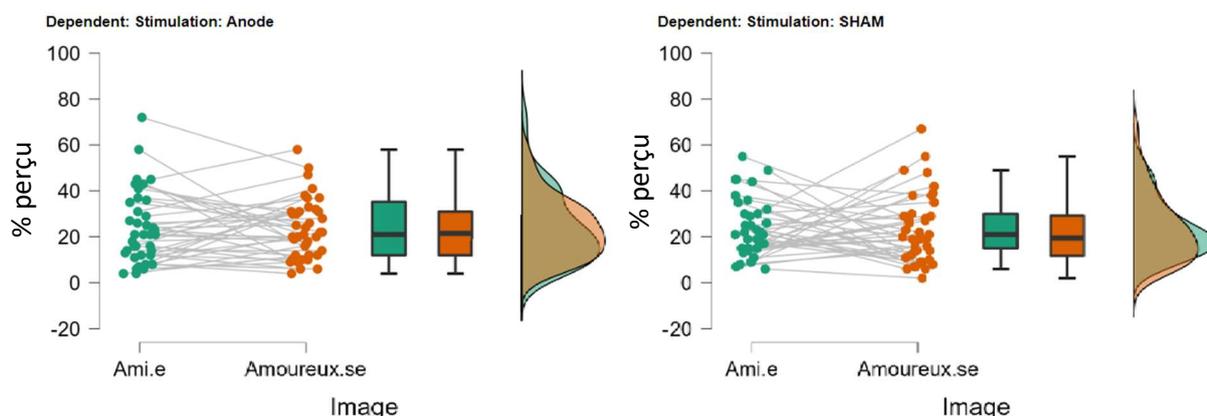
Note. Type III Sum of Squares

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Residuals	11784.244	39	302.160		

Note. Type III Sum of Squares

**Table 4.** Résultats de l'ANOVA sur les pourcentages perçus de possession de balle pendant le jeu. Table produite par le logiciel JASP.



**Figure 9.** Graphiques en nuages de points, boîtes à moustache et distribution des pourcentages perçus de possession de balle pendant le jeu. Graphiques produits par le logiciel JASP.

### 10. Modèle principal : douleur sociale

L'ANOVA à mesures répétées n'a pas révélé d'effet principal statistiquement significatif ( $F = 0.918$ ,  $p = 0.344$ ,  $\eta^2 = 0.008$ ) de la tDCS sur la douleur sociale. Les données ne permettent pas de mettre en évidence une diminution de la mesure de douleur sociale suite à leur participation au jeu du Cyberball par la stimulation anodique du CPFVL droit.

L'effet principal de l'image s'est révélé statistiquement non-significatif ( $F = 1.309$ ,  $p = 0.260$ ,  $\eta^2 = 0.014$ ). Visionner l'image de leur partenaire romantique n'a donc pas permis aux participant·e·s de ressentir moins de douleur sociale par rapport à celle de leur ami·e.

En revanche, l'analyse statistique a révélé l'existence d'une interaction significative ( $F = 4.297$ ,  $p = 0.045$ ,  $\eta^2 = 0.020$ ) entre la stimulation transcrânienne et l'image visionnée par les participant·e·s. Comme on peut le voir dans La **Figure 10**, cette interaction indique que le fait de voir le visage de l'ami·e, en condition de stimulation anodique, a été ressenti de manière plus douloureuse socialement que les autres conditions.

La **Table 5** reprend les résultats de cette analyse, les **Figure 11** et **Figure 12** permettent de visualiser la distribution des données en fonction de chaque groupe.

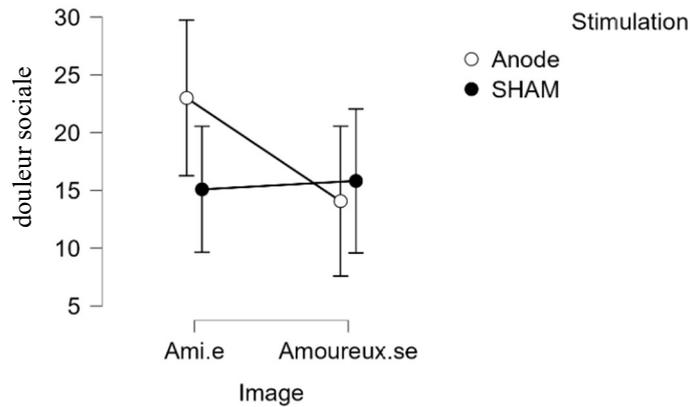
Within Subjects Effects						
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Stimulation	378.225	1	378.225	0.918	0.344	0.008
Residuals	16068.275	39	412.007			
Image	672.400	1	672.400	1.309	0.260	0.014
Residuals	20036.100	39	513.746			
Stimulation * Image	931.225	1	931.225	4.297	0.045	0.020
Residuals	8451.275	39	216.699			

Note. Type III Sum of Squares

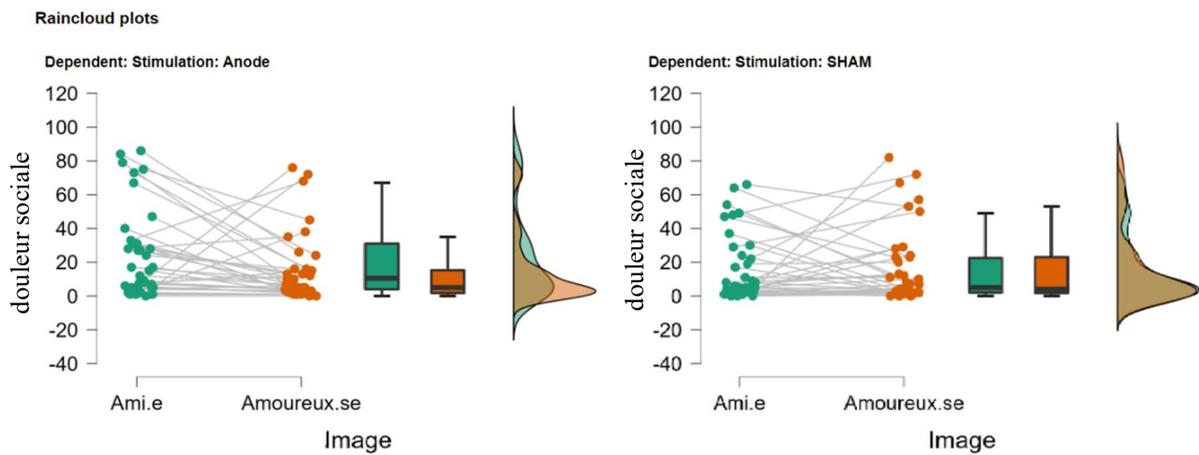
Between Subjects Effects					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Residuals	31706.500	39	812.987		

Note. Type III Sum of Squares

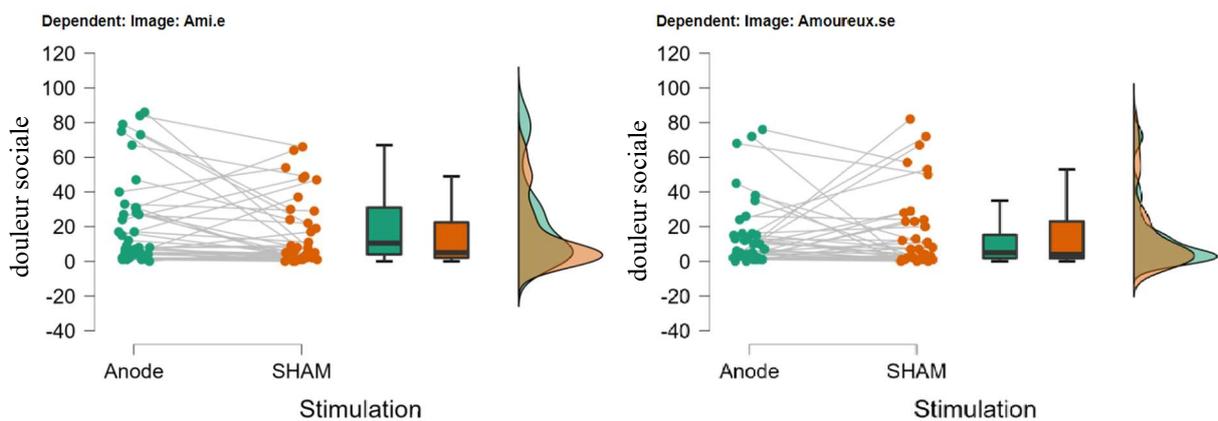
**Table 5.** Résultats de l'ANOVA sur douleur sociale ressentie. Table produite par le logiciel JASP.



**Figure 10.** Graphique descriptif de l'ANOVA sur la mesure de douleur sociale.



**Figure 11.** Graphiques en nuages de points, boîtes à moustache et distribution des scores de douleur sociale. Graphique de gauche = condition anodique ; graphique de droite = condition SHAM. Graphiques produits par le logiciel JASP.



**Figure 12.** Graphiques en nuages de points, boîtes à moustache et distribution des scores de douleur sociale. Graphique de gauche = condition image de l'ami.e ; graphique de droite = condition image de l'amoureux.se. Graphiques produits par le logiciel JASP.

## 11. Modèle exploratoire : émotions négatives

Concernant les émotions négatives mesurées par la PANAS, L'ANOVA à mesures répétées n'a traduit aucun effet significatif. L'effet principal de la stimulation ne s'est en effet pas révélé statistiquement significatif ( $F = 0.794$ ,  $p = 0.378$ ,  $\eta^2 = 0.009$ ). L'image du de la partenaire romantique n'a pas non plus eu d'effet sur ces émotions par rapport à celle de l'amie ( $F = 0.010$ ,  $p = 0.922$ ,  $\eta^2 = 8.551 \times 10^{-5}$ ). Aucune interaction statistiquement significative entre les conditions de stimulation et d'image ne s'est non plus manifestée ( $F = 3.269$ ,  $p = 0.078$ ,  $\eta^2 = 0.014$ ) sur les émotions négatives.

La **Table 6** ainsi que les **Figure 13** et **Figure 14** reprennent ces données chiffrées et graphiques.

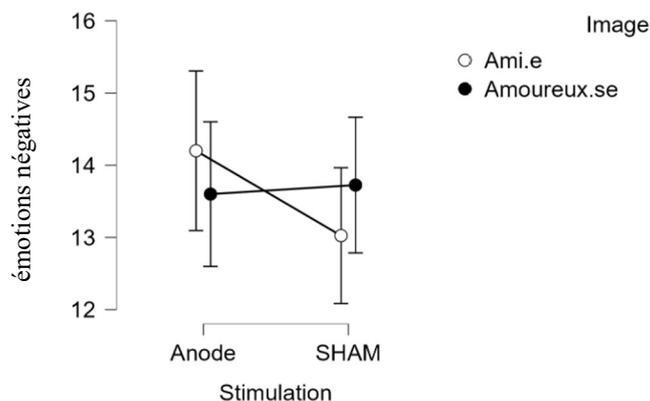
Within Subjects Effects						
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Stimulation	11.025	1	11.025	0.794	0.378	0.009
Residuals	541.475	39	13.884			
Image	0.100	1	0.100	0.010	0.922	$8.551 \times 10^{-5}$
Residuals	398.400	39	10.215			
Stimulation * Image	16.900	1	16.900	3.269	0.078	0.014
Residuals	201.600	39	5.169			

Note. Type III Sum of Squares

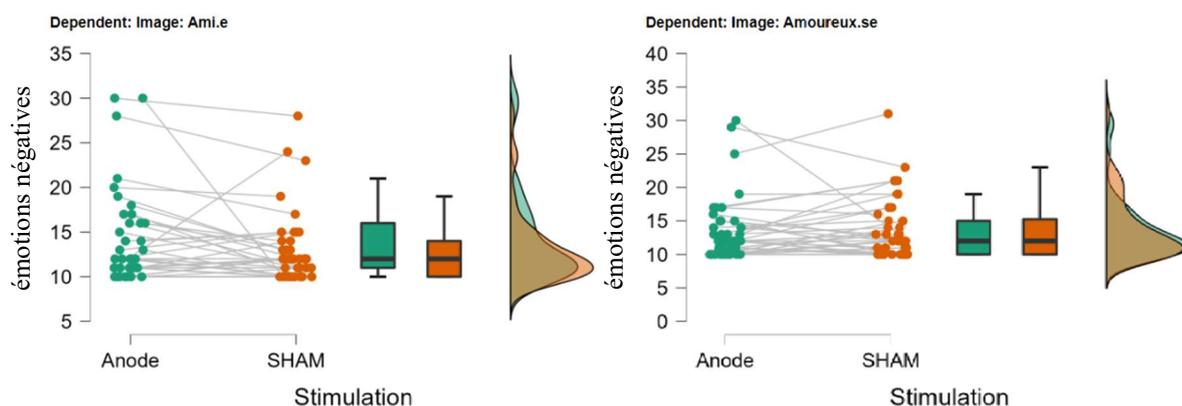
Between Subjects Effects					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Residuals	2373.475	39	60.858		

Note. Type III Sum of Squares

**Table 6.** Résultats de l'ANOVA sur les émotions négatives ressenties. Table produite par le logiciel JASP.



**Figure 13.** Graphique descriptif de l'ANOVA sur les émotions négatives.



**Figure 14.** Graphiques en nuages de points, boîtes à moustache et distribution des émotions négatives. Graphiques produits par le logiciel JASP.

## 12. Modèle exploratoire : émotions positives

Une ANOVA à mesures répétées 2 (stimulation : anode vs. SHAM) x 2 (image : ami.e vs. amoureux.se) a été effectuée sur l'échelle positive de la PANAS et n'a pas identifié d'effet principal de la tDCS ( $F = 0.019$ ,  $p = 0.891$ ,  $\eta^2 = 2.340 \times 10^{-4}$ ). L'analyse a par contre révélé un effet principal important d'image ( $F = 39.778$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = 0.219$ ), indiquant que les participant.e.s avaient ressenti davantage d'affects positifs lorsqu'ils visionnaient l'image de leur amoureux.se par rapport à leur ami.e, voir **Figure 15** et **Table 7**. L'effet d'interaction ne s'est pas révélé significatif ( $F = 0.101$ ,  $p = 0.752$ ,  $\eta^2 = 2.340 \times 10^{-4}$ ), ne traduisant pas de différence statistiquement significative entre l'effet positif de l'image et le type de stimulation reçu.

### Within Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Stimulation	0.625	1	0.625	0.019	0.891	$2.340 \times 10^{-4}$
Residuals	1270.375	39	32.574			
Image	585.225	1	585.225	39.778	< .001	0.219
Residuals	573.775	39	14.712			
Stimulation * Image	0.625	1	0.625	0.101	0.752	$2.340 \times 10^{-4}$
Residuals	240.375	39	6.163			

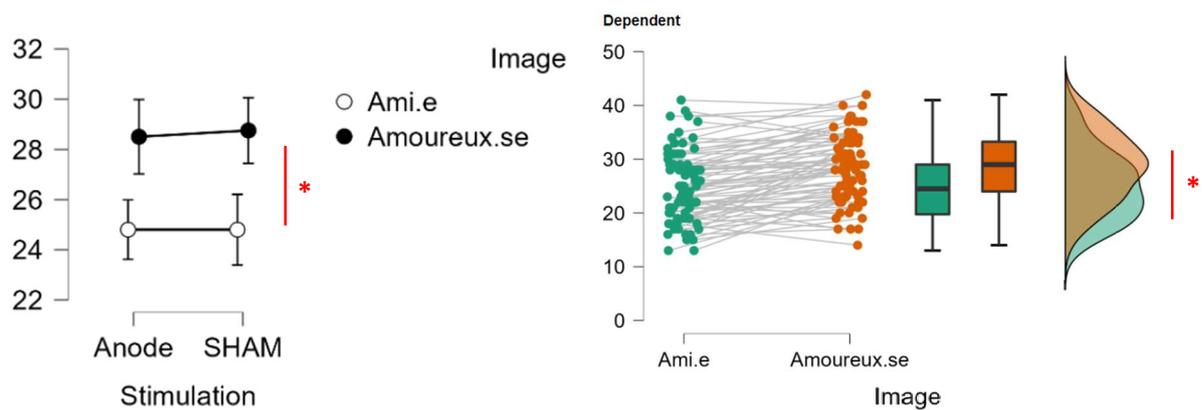
Note. Type III Sum of Squares

### Between Subjects Effects ▼

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Residuals	4389.775	39	112.558		

Note. Type III Sum of Squares

**Table 7.** Résultats de l'ANOVA sur les émotions négatives ressenties. Table produite par le logiciel JASP.



**Figure 15.** Gauche : graphique descriptif des émotions positives. Droite : graphique en nuages de points, boîtes à moustache et distribution des émotions positives (indépendamment de la condition de stimulation). Graphiques produits par le logiciel JASP.

### 13. Régression exploratoire entre niveau d'amour et analgésie de la condition d'image

La régression réalisée entre le niveau d'amour et la douleur sociale rapportée par les participant·e·s, n'est pas apparue significative ni en condition de stimulation anodique ( $F = 0.540$ ,  $p = 0.467$ ), ni en condition SHAM ( $F = 3.789$ ,  $p = 0.059$ ). La douleur sociale n'a donc pas varié en fonction du niveau d'amour (mesuré par le score à l'échelle PLS) quelle que soit la condition. L'analyse détaillée ainsi que le graphique lié à cette analyse ne sont pas rapporté·e·s ici par souci de clarté et de concision mais peuvent être trouvé·e·s au sein de l'**Annexe 13**.

## IV. DISCUSSION

---

Le but principal de cette étude était de déterminer si l'on peut diminuer le ressenti douloureux provoqué par la douleur sociale (elle-même provoquée par l'exclusion sociale, bien perçue par les participant·e·s) en faisant visionner une image de la personne dont le·a participant·e est amoureux·se et si cette diminution peut être accentuée par l'effet de la tDCS anodique sur le CPFVLd. La présente expérience n'a pas mis en avant de tels effets. En revanche, le visionnage de l'image du·de la partenaire était lié à davantage d'émotions positives (mais pas moins d'émotions négatives).

L'absence d'effet principal de la stimulation ou de l'image sur la douleur sociale (modèle principal) montre qu'aucun des deux effets précédemment référencés dans la littérature n'ont été retrouvés (analgésie grâce à la tDCS et grâce à l'image du·de la partenaire amoureux·se). Bien que cela fasse écho au problème de répliquabilité (e. g., Freedman et al., 2015 ; Nozek et al 2015) et au déclin de la taille d'effet (e. g., Brems et al., 2013, Gonon et al., 2012) présents dans la recherche et mis en avant ces dernières années, notons tout de même que la raison de ces échecs de répliquations pourrait notamment être dûe à un manque de précision dans la question consacrée à évaluer cette douleur sociale (discuté dans la section **14. Limites de l'étude**). La tâche pourrait également ne pas avoir induit de réelle douleur sociale, reflété par la douleur ressentie par bon nombre de participant·e·s inférieure à 10 sur l'échelle allant jusqu'à 100 pour les 4 parties de Cyberball (10 personnes, à savoir  $\frac{1}{4}$  de l'échantillon ; cette limite est discutée dans le point **14**). Aussi, une grande hétérogénéité est apparue dans les réponses. En effet, la **Figure 11** montre un pattern de réponses en croix, signifiant qu'une partie des participants ont expérimenté davantage de douleur sociale lorsque l'image visionnée était celle de l'ami·e alors qu'une autre partie ont expérimenté l'inverse. Pareillement pour les conditions anodiques et SHAM. Cela pourrait signifier qu'un ou des facteur·s, non pris en compte dans cette étude, pourraient avoir eu un rôle de médiation (discuté ci-après dans les pistes futures et perspectives, section **15**). Une autre raison qui pourrait avoir empêché de retrouver ces résultats pourrait être le design en blocs utilisé dans cette étude, ne correspondant pas au design simple des études sur la douleur sociale, étudiée sous tDCS à l'aide du Cyberball, sur lesquelles cette recherche s'est principalement basée (Riva et al., 2015a ; Riva et al., 2015b). Cependant, le nombre de blocs ne semble pas affecter les implications cérébrales, ce qui peut laisser imaginer que le manque d'effet n'était pas dû à ce paramètre (Rotge et al., 2015). En

revanche, la durée de l'exclusion durant le jeu, ayant l'air d'engager différentes parties du CCA (Rotge et al., 2015), les auteur·e·s suggèrent que la prévision de la violation des attentes sociales entre en jeu et qu'il ne soit alors plus question uniquement que de douleur sociale. Ce phénomène de prévision, combiné à une habitude a pu se produire puisque les participant·e·s ont dû jouer quatre fois au jeu (en étant chaque fois exclu·e·s), ce qui aurait alors en moyenne diminué le ressenti de douleur sociale. Cette proposition correspond d'ailleurs à la fois aux commentaires des participant·e·s (**Annexe 12**) ainsi qu'aux résultats d'une analyse supplémentaire effectuée entre leurs 1<sup>e</sup> et 2<sup>e</sup> séances (**Annexe 13**), soutenant alors cette hypothèse. Il se pourrait en outre que la population de laquelle l'échantillon est tiré ne corresponde pas à celle des études précédentes sur le sujet, puisqu'aucun·e participant·e à cette recherche n'était issu·e d'études en psychologie (voir point **4.3**). De plus, Hartgerink et al. (2015) avancent que lorsque des facteurs qui pourraient limiter la douleur physique ou la détresse sont présents, il peut être attendu qu'une modération dans la mesure de détresse apparaisse. Le soutien social apporté par l'une ou l'autre image dans cette recherche pourrait donc constituer un facteur modérateur de la douleur sociale ressentie par les participant·e·s en soi. Cette idée est d'ailleurs cohérente relativement aux pourcentages perçus de possession de la balle pendant le jeu, point discuté ci-après (p.46-47). De surcroît et comme abordé dans l'introduction, les tailles d'effet de l'induction de la douleur sociale grâce au paradigme du Cyberball sont très hétérogènes, même dans un set d'études dont les paramètres méthodologiques sont particulièrement homogènes (Hartgerink et al., 2015). Ceci pourrait également être une explication à la fois du faible effet sur la douleur sociale dans cette étude ainsi que de la grande hétérogénéité dans les résultats. D'ailleurs, les auteurs soulignaient également que cette hétérogénéité était probablement la manifestation de modérateurs non encore identifiés, ce qui correspond également aux résultats actuels et soutient ainsi cette idée qui est davantage développée dans la section **15**.

Autrement, une interprétation alternative pourrait être que des différences se marquent uniquement sur les mesures moins directement liées à la tâche (émotions positives) au contraire de la douleur sociale et des émotions négatives (directement en lien avec la tâche, plus objectives) parce que le soutien social de l'image dans toutes les conditions remplit les besoins sociaux en indiquant ce soutien, ne laissant alors pas apparaître de détresse, et augmentant la tolérance à la douleur (cf. Riva et al., 2011). Dans ce cas de figure, il serait alors compris que les deux types de soutien social ont suffi, en moyenne, à prévenir l'apparition de douleur sociale (alors vrai aussi pour les émotions négatives).

Dans ce modèle principal, l'interaction entre la condition d'image et celle de stimulation indique que les participant·e·s ont expérimenté davantage de douleur sociale pendant la stimulation anodique lorsque c'est l'image de l'ami·e qui était affiché à l'écran (voir **Figure 10.**), par rapport à toutes les autres conditions. Plusieurs interprétations sont envisagées. La première étant que la stimulation anodique aurait non pas eu d'effet analgésique comme attendu mais qu'elle aurait causé une vigilance pour la douleur sociale en stimulant la zone pas particulièrement nécessaire, se manifestant en un ressenti de douleur sociale plus élevé en visionnant l'image de l'ami·e. Dans ce cas de figure, voir le·a partenaire romantique aurait alors pu apaiser cette douleur plus saillante que la stimulation aurait induit (puisque cette condition ne diffère pas des deux autres conditions sous stimulation SHAM). La seconde considère l'ordre de présentation des images (analyse supplémentaire recensée dans l'**Annexe 13**). Lorsque le visionnage de l'image de l'amoureux·se précédait celui de l'image de l'ami·e, le niveau de douleur restait relativement constant alors que lorsque l'image de l'ami·e était montrée avant celle de l'amoureux·se, la douleur sociale recensée était plus faible pendant le visionnage de l'amoureux·se. Ceci pourrait expliquer pourquoi le niveau de douleur ressenti est en moyenne plus élevé lorsque c'est l'image de l'ami·e qui était présente à l'écran. La raison pour laquelle cela serait marqué en stimulation anodique et pas SHAM pourrait dans ce cas être un biais d'échantillonnage. La dernière hypothèse stipule que le pattern obtenu pourrait simplement avoir été dû à un hasard dans les données et ne peut pas réellement s'expliquer. Dans tous les cas, la raison de l'existence de cette interaction reste peu claire et doit être considérée prudemment.

Cette étude n'encourage donc pas à penser que l'activité du CPFVLD est liée à une régulation de la douleur sociale provoquée par l'activation du CCA. Toutefois, étant donné qu'un soutien social était procuré et qu'il a l'air d'avoir agi sur la simple perception de réception de balle (section **16.**) et au vu de la littérature précédente sur le sujet, il serait imprudent de considérer qu'un tel lien causal entre cette zone cérébrale spécifique et l'analgésie de la douleur sociale n'existe nullement. L'activité du CCA pourrait simplement ne pas avoir été stimulée par la douleur sociale (excepté en voyant une image de l'ami·e en stimulation anodique pour les raisons proposées dans un précédent paragraphe) parce que la douleur induite par le jeu du Cyberball n'était pas suffisamment forte (quelle qu'en soit la raison).

Concernant le modèle d'émotions négatives (**Figure 14**), le manque d'effet ou d'interaction significative signale qu'aucune condition de tDCS ou d'image n'a eu d'impact sur les émotions négatives attestées dans l'échelle PANAS. Quelle que soit la condition, la

même quantité d'émotions négatives était donc ressentie par les individus. Autrement dit, les émotions négatives induites (ou en tout cas ressenties après le jeu) étaient semblables et constantes au travers des conditions d'images et de stimulation, tout comme la perception de possession de balle. Il est dès lors possible d'inférer soit que la tâche ait induit des émotions négatives semblables dans toutes les conditions, soit qu'elle n'en ait pas induit ou que le soutien social, quel qu'il soit, ait permis de les prévenir. L'une de ces deux dernières paraissent plus plausibles, si l'on se fie aux normes anglaises de cette échelle (Crawford & Henry, 2010), dont la moyenne (écart-type) est de 16.0 (5.9). Une étude relativement récente a d'ailleurs trouvé une corrélation positive entre la régulation émotionnelle et le soutien social perçu après avoir subi une exclusion sociale en jouant au Cyberball (Szkody & McKinney, 2019), même si les auteur·trice·s n'en discutent pas particulièrement.

Il n'était pas attendu que les émotions positives soient affectées dans cette étude étant donné qu'il s'agissait d'une situation attendue comme étant aversive pour les participant·e·s. Cependant, le modèle d'émotions positives a montré un effet principal statistiquement significatif de taille importante (**Figure 15**), effet non-influencé par la tDCS (puisque pas d'effet principal de stimulation ni présence d'interaction). Ceci indique que lorsque les participant·e·s étaient confronté·e·s à l'image de leur bien-aimé·e, iels expérimentaient de plus amples émotions positives. Bien qu'aucun affect négatif n'ait clairement été expérimenté par les individus, les émotions positives ont, elles, été impactées. Ceci pourrait indiquer qu'en situation d'exclusion sociale, l'amour pourrait aider à un mieux-être non pas forcément en bloquant le ressenti aversif, mais bien en permettant des émotions plus positives de se manifester. De plus, cet effet se manifestant nonobstant la non-congruence de l'émotion manifestée (affect positif) avec celle induite (affect négatif), il pourrait être déduit que ce dernier effet est relativement puissant. La congruence est un effet souvent mentionné dans la littérature (e. g., Trilla, 2021) mais aussi parfois remis en question (voir Niedenthal & Wood, 2019 pour une revue sur le sujet). Notons également que conformément aux consignes indiquées dans le point **6.1.**, les participant·e·s devaient sélectionner les images préférées de leur partenaire ainsi que de leur ami·e. De ce fait, une congruence de l'émotion du visage des partenaires sociaux, la plupart du temps positives (une majorité, c'est-à-dire 65 sur 80, des photographies utilisées étaient des visages souriants ; et dans tous les cas les images devraient être liées à un affect positif au vu de la consigne), existait avec les émotions pour lesquelles un effet a été enregistré (émotions positives).

Ces résultats sont intéressants à considérer en termes d'implications dans le bonheur et le bien-être. Malgré l'hétérogénéité des résultats d'affects négatifs (douleur sociale ainsi qu'émotions négatives), l'augmentation des émotions positives lors du visionnage des amoureux·ses pendant le jeu est unanime. Il en découle que l'effet positif de l'image de l'amoureux·se semble être plutôt robuste. Pour pousser le raisonnement plus loin, les résultats montrent que le simple indice visuel du·de la partenaire romantique, par rapport à un·e ami·e le·a plus proche des participant·e·s, a permis d'augmenter les émotions positives ressenties (même en situation aversive, rappelons-le) par ces dernier·ère·s. La présupposée seule différence entre ces deux figures sociales est le sentiment amoureux. Le sentiment amoureux serait alors lié avec le fait de ressentir davantage d'émotions positives. Ressentir des émotions positives est en lien avec le bien-être, lui-même positivement associé à une santé psychologique et physique de qualité. Par translation, il est alors possible de supposer que l'amour pourrait améliorer le bien-être et promouvoir une meilleure santé globale. Une question se pose alors : l'amour permettrait-il en effet de rendre plus heureux·se ? Si oui, pourrait-ce être dû à une augmentation des émotions positives ? Certain·e·s auteur·trice·s ont déjà essayé d'aborder le sujet d'une autre manière qu'en se basant sur un mariage – idée relativement dépassée pour l'époque actuelle – (Campbell et al., 2005 ; Dush & Amato, 2005 ; Kansky, 2018 ; Kim & Hatfield, 2004). De manière très intéressante, la qualité de la relation amoureuse a l'air d'avoir une importance sur la question (Dush & Amato, 2005) et d'autres facteurs sont également discutés, comme la personnalité (voir notamment Kanksy, 2018 pour une revue).

Le pourcentage estimé de réception de balle par les participant·e·s indique que dans toutes les conditions, l'exclusion a été perçue. Ce pourcentage étant équivalent dans toutes les conditions, il peut être inféré qu'aucune des manipulations réalisées en termes d'images ou de stimulation n'ont affecté cette mesure. En revanche, le pourcentage moyen général était de 23,50625%, c'est-à-dire environ 10% de plus que la réalité. Ce pourcentage moyen relativement élevé (ou en tout cas surestimé) pourrait traduire cet effet général positif apporté par le soutien social, qui est développé plus largement dans l'introduction de ce mémoire (e. g., Riva et al., 2011, Che et al., 2018). C'est une potentialité qui avait d'ailleurs été suggérée dans les hypothèses du présent travail. Cependant, notons tout de même la grande variabilité dans les réponses (voir **Figure 9**). Ces fluctuations pourraient être attribuées à différentes causes. Si l'on alloue la responsabilité de la tâche d'avoir causé ces résultats, il est facilement imaginable que des variables individuelles ont pu entrer en jeu (voir modérateurs, discutés plus loin dans la discussion, dans l'interprétation du modèle principal ainsi que dans le point **15**). Si l'on

soupçonne en revanche la formulation de la question en elle-même, il peut dans ce cas être mis en lumière le fait que les participant·e·s auraient pu comprendre la question « À quel pourcentage pensez-vous avoir reçu la balle durant le jeu ? » de deux manières différentes. Soit iels auraient indiqué le pourcentage de possession de balle par rapport au jeu entier (comme prévu et recherché), c'est- à dire en considérant que 100% représenterait que seul lui ou elle avait possédé la balle, soit par rapport à leur point de vue unique, en considérant dans ce cas que 100% représente alors un partage parfait entre les 3 joueurs. Cette dernière possibilité n'avait pas été perçue lors de la conception des questions (traduction de la question d'après les études en anglais citées plus haut) mais a été mise en avant par les commentaires oraux de certain·e·s participant·e·s indiquant qu'iels avaient clairement remarqué avoir été exclu·e·s en ayant pourtant indiqué des scores très élevés (bien supérieurs à 33%) de perception de réception de balle.

La régression entre la douleur sociale et la PLS, n'ayant pas montré de relation entre ces deux variables, ne permet pas d'affirmer qu'un niveau d'amour différent (mesuré par la PLS) permette l'obtention d'un effet analgésique statistiquement différent. Cela pourrait d'ailleurs encourager à croire en l'hypothèse selon laquelle il y aurait eu un effet apaisant de l'image mais que ce dernier soit uniforme à un soutien social, plutôt que dépendant de la nature de la relation (amicale ou amoureuse).

Quoi qu'il en soit, ce manque de relation permet d'écarter l'idée selon laquelle l'hétérogénéité dans les réponses des participant·e·s pourrait être due à des sentiments amoureux plus ou moins forts envers leurs partenaires romantiques.

#### **14. *Limites de l'étude***

Dans le modèle principal (i. e., douleur sociale comme variable dépendante), beaucoup de scores très bas ont été observés, ce qui peut traduire un certain nombre d'aspects problématiques.

Cela pourrait en effet refléter un premier problème, d'ordre méthodologique : la représentativité du questionnaire. La question évaluant le ressenti de douleur sociale pourrait ne pas correspondre de manière équivoque à la douleur sociale parce que le langage français pourrait ne pas aussi bien représenter le concept (sans avoir recours à ce terme précis) que le permet le vocabulaire anglais. Plusieurs participant·e·s ont eu tendance à s'exprimer en termes de « frustration » plutôt qu'en terme d'inconfort ou de mal-être à l'oral avec l'expérimentatrice

lors de la fin de l'expérience (voir aussi **Annexe 12**), ce qui pourrait peut-être constituer un bon compromis à l'avenir afin de solutionner ce souci. En outre, aucune indication ne figurait sur la signification précise de 0% et de 100% dans les questions post-parties : cela pourrait être lié à ce problème de considération du continuum de manière attendue. Cela constitue un point à améliorer.

Un second problème à considérer est l'efficacité de la tâche à induire cet état d'inconfort social. En effet, bon nombre de personnes ont après coup indiqué que l'exclusion subie n'a pas été prise personnellement parce qu'il ne s'agissait « que d'un jeu ». Les résultats ne peuvent alors peut-être pas être considérés comme représentatifs de la réalité lorsqu'une personne est réellement exclue d'un contexte social réel. En considérant pourtant que cette tâche s'était montrée relativement efficace dans le passé (e.g., Eisenberger et al., 2003 ; Hartgerink et al., 2015 ; Williams & Jarvis, 2006), il pourrait être suggéré que la tâche est moins efficace à l'heure actuelle, peut-être à cause du développement des nouvelles technologies baignant la génération actuelle en son sein (habitude des jeux-vidéos, par exemple). Cette idée est considérée à la suite des commentaires de plusieurs participant·e·s et au manque de relation statistiquement significative entre l'implication dans la tâche et la douleur sociale ressentie (cf. analyses supplémentaires en **Annexe 13**).

Comme déjà mentionné, une grande hétérogénéité a aussi été remarquée dans les résultats, n'étant pas attendue au départ, elle laisse entendre que l'analyse de puissance n'est pas aussi satisfaisante que prévu. Les moyennes et écarts-types attendu·e·s utilisé·e·s pour cette analyse en simulation s'avèrent avoir été mal estimé·e·s. La variabilité des résultats s'est effectivement révélée bien plus élevée que celle prévue lors de la réalisation de cette analyse. Cette dernière pourrait donc avoir limité la probabilité de détecter des effets existants s'ils étaient vrais (en ne rejetant peut-être pas une hypothèse nulle erronée). Ceci laisse transparaître le problème de longue date de sous-puissance dans la recherche scientifique (problème abordé dans des articles tels que Button et al., 2013, Dumas-Mallet et al., 2016). Notons tout de même que la potentielle implication de médiateurs, citée plus tôt et développée dans le point de discussion suivant (**15.**), pourrait être un facteur causal de cette grande variabilité.

Une remarque porte sur le fait que la PLS n'a été complétée que lors de la première session. Il aurait pu être utile de séparer l'échantillon en 2 groupes dont le premier aurait rempli l'échelle avant la tâche et le second après afin de contrôler pour une potentielle (et d'ailleurs, supposée) différence significative entre la valeur indiquante de sa complétion précédant les tâches. Cependant, les données n'ont pas l'air de laisser transparaître ce genre d'effet.

L'implication dans la tâche (qui n'a pas été développée dans cette partie principale du mémoire mais dont l'analyse de son lien avec la douleur sociale figure dans l'**Annexe 13**), semble avoir été évaluée par une question qui n'a pas permis de cibler avec précision le concept voulu. La question utilisée a en effet pu être comprise d'une manière imprévue et donc la manière des participant·e·s d'y répondre pourrait ne pas avoir été équivoque. Le sens cherché était le niveau auquel iels s'étaient impliqué·e·s dans le jeu (i. e., leur propension à être appliqué·e·s, à respecter les consignes) mais il a aussi pu être perçu comme l'implication qu'iels ont eu au sein du jeu (i. e., à quel point iels étaient inclus·e·s par les autres durant le jeu). Il convient donc d'interpréter prudemment cette analyse (**Annexe 13**), en considérant cette potentialité.

Une autre limite à identifier est que la PANAS n'a été administrée qu'après chaque partie. Il aurait effectivement pu être envisagé de la faire passer au début de chaque session afin d'obtenir une ligne de base chacun des deux jours où une personne passait ses sessions. Cependant, puisqu'elle fut remplie après chaque condition d'image et ce dans chaque condition de stimulation, la comparaison entre ces 4 points de sonde ne semble pas constituer un problème majeur au vu du contrebalancement de toutes les conditions. En revanche, étant donné que les deux sessions se passaient lors de jours différents, il est fort probable que certaines personnes n'étaient pas dans le même état émotionnel, voire dans des états émotionnels opposés (cf. commentaires des participant·e·s en **Annexe 12**) pour l'un et l'autre jour (sessions 1 et 2). Le problème ne pouvant pas être évité en lui-même, il aurait peut-être pu être contrôlé par exemple en calculant un score de différence entre chaque échelle PANAS post-partie aux scores de la PANAS pré-partie du jour de la session. Ceci permettrait de comparer les changements d'émotions provoqués par les parties dans leurs conditions particulières entre chaque paire de sessions.

Comme décrit dans la partie méthodologique, pour permettre une condition contrôle d'image supposée optimale, il était demandé aux participant·e·s de sélectionner leur meilleur·e ami·e (la personne du même sexe que leur partenaire romantique de qui iels étaient le·a plus proche, hors parents). Cependant, une relation amicale n'étant pas l'autre et ne représentant alors potentiellement pas un soutien social équivalent, cette variable a pu constituer une variable confondante, peut-être à la source, au moins en partie, de l'hétérogénéité dans les ressentis d'ostracisme lors du jeu. Toutefois, l'hypothèse de l'explication relative au soutien social uniforme apportée au début de la discussion pourrait suggérer que ce problème n'est pas de grande importance, si elle s'avère vraie.

Une limite plus générale de la technique de stimulation utilisée ici est un problème bien connu dans le domaine : le manque de précision de la tDCS (e. g., Caulfield & George, 2021 discutent de solutions). En effet, que ce soit pour la large taille des électrodes, ainsi que la différence considérable entre les formes et épaisseurs de crânes et de cerveaux différentes, ou encore le trajet du passage du courant entre l'anode et la cathode ainsi qu'un grand nombre d'autres variables, il est souvent rappelé que peu de certitudes peuvent être faites sur les zones réellement stimulées chez chaque sujet (pour une revue récente, voir Vertillago et al., 2022). Une toute récente étude a d'ailleurs pu mettre en avant, en utilisant une méthode de tDCS plus précise (HD-tDCS), un effet analgésique d'affect en situation d'exclusion sociale en stimulant le CPFVLd (Zhang et al., 2023). Ces résultats suggèrent une fois de plus (cf. He et al., 2020, stimulation par TMS) que le manque de précision de la simple tDCS pourrait être une raison partiellement à l'origine du manque d'effet statistiquement significatif sur les affects négatifs au sein de cette recherche, compte tenu de la possibilité de la présence de biais d'échantillonnages (puisque une grande variabilité individuelle existe). Une autre solution d'amélioration de précision de la tDCS serait de ne pas l'utiliser seule mais en la combinant à une technique d'imagerie telle que l'IRM fonctionnelle qui pourrait permettre de détecter ces différences individuelles dont Esmailpour et al., (2019) discutent dans leur revue. L'utilisation d'un tel procédé n'a pas pu être envisagé dans le cadre de ce mémoire pour des raisons de faisabilité. Le facteur d'imprécision que constituent les différences inter-individuelles de position exacte d'une zone cérébrale par rapport au scalp peut lui aussi être en partie limité avec l'utilisation d'une technique de localisation cérébrale, par exemple à l'aide d'un scan préalable en IRM structurelle permettant cette localisation.

### **15. Pistes futures, perspectives**

Dans le cadre de ce mémoire, il a été choisi d'utiliser la PLS comme mesure d'amour. Cependant, cette échelle considère l'amour passionnel, plutôt que l'amour romantique, dont il est plus particulièrement question ici. La raison est qu'il n'existe pas encore d'échelle d'amour romantique traduite et validée en français. Cependant, l'échelle utilisée dans le contexte de ce travail pourrait refléter certains traits problématiques dans une relation (versant obsessionnel, voire malsain dans une relation) qui sont considérés comme « positifs » par l'échelle puisqu'ils font augmenter le score total. Ils représentent donc, dans ce score, un aspect délétère au niveau des sentiments d'amour éprouvés pour l'autre membre de la relation alors que des auteur·trice·s mettent en évidence l'aspect, au contraire, problématique de ce versant au sein d'une relation

amoureuse (Graham et al., 2011). Même si cela ne cause pas de grands préjudices dans le cadre de ce travail, la traduction et validation d'une échelle d'amour romantique plus représentative d'une relation saine est donc vivement encouragée pour le bien de l'avenir du domaine, pour en assurer une qualité croissante.

Comme décrit plus tôt, une recherche de médiateurs dans le modèle de la douleur sociale s'avérerait intéressante puisque, en référence au pattern croisé de la **Figure 11**, chez certaines personnes, l'effet apaisant de l'image du/de la partenaire a l'air davantage marqué (à l'œil) alors que c'est le cas pour l'image de l'ami·e pour d'autres. Cette grande hétérogénéité dans les patterns de réponses (dans un de ces deux sens ou dans l'autre) laisse donc paraître que ces patterns pourraient varier en fonction de paramètres non pris en compte dans le cadre de cette recherche. Cette idée est d'ailleurs renforcée par les commentaires de certaines de ces personnes indiquant qu'elles ont ressenti ces dits effets (dans l'un ou l'autre sens) avant ou pendant le débriefing. Des possibles médiateurs sont ci-après discutés.

*Attachement.* Dans le passé, il a été suggéré que le style d'attachement pourrait avoir une influence sur la taille de l'effet analgésique de la présence du bien-aimé (Krahé et al., 2014). De plus, Hermann et al. (2013) ont montré que des personnes primées (à l'écrit) avec une relation sociale acceptante, comparée à une relation sociale peu sécurisante, ressentaient moins de douleur sociale après l'exclusion au Cyberball game, mais uniquement si elles avaient un attachement sécure. Le type de soutien social « acceptant » correspondrait, dans la présente étude, aux deux personnes indicées sur l'écran à l'aide d'images. C'est pourquoi il pourrait être pertinent d'ajouter à ce paradigme un questionnaire permettant d'identifier le type d'attachement des participants, permettant d'identifier s'il s'agit en effet d'une variable influençant les résultats. L'échelle QSR dans sa version française (Chaperon & Dandeneau, 2017) pourrait être administrée pour ce faire (version originale : ECR-RS de Fairchild & Finney, 2006). Plus largement, le type d'attachement semble bien lié à la manière dont une situation stressante ou de détresse est perçue et dont les réactions émotionnelles sont régulées (Simpson & Rholes, 2017). Les auteur·trice·s avancent également que la manière de soutenir l'autre membre de la relation, notamment, dépend du type d'attachement. De ce fait, non seulement le style d'attachement du/de la participant·e, mais aussi celui de son·sa partenaire ont pu créer une certaine variabilité dans les présentes données.

*Esprit de compétitivité.* Il apparaît que l'hypercompétitivité aurait une influence sur la manière de se comporter dans diverses situations et que ce trait particulier aurait en fait lui-même un lien avec le type d'attachement (Ryckman, 2002). Ainsi, il semble intéressant de considérer l'idée selon laquelle, dans le contexte d'un jeu (i. e., tâche utilisée dans la présente étude), ce

trait de personnalité pourrait être l'un des potentiels médiateurs dans une telle situation. En revanche, cela pourrait ne pas être transposé dans un contexte plus écologique de détresse sociale, puisque n'impliquerait pas forcément cet esprit de compétitivité. En outre, la satisfaction d'une relation ne semble pas différer en fonction de ce trait (Ryckman, 2002 ; Thornton et al., 2011). Newby & Klein (2014) ont d'ailleurs développé une échelle qui pourrait facilement être utilisée afin d'évaluer la compétitivité de participant·e·s.

*Estime de soi.* Selon une étude de Onoda et al. (2010), l'estime de soi exercerait une influence sur l'expérience de rejet social (durant le jeu du Cyberball) d'une telle manière qu'un niveau plus faible d'estime de soi serait lié avec une sensibilité plus forte à l'ostracisme (susitant alors davantage de douleur sociale) alors qu'un plus haut niveau serait lié à l'inverse. Considérant le lien apparaissant entre l'estime de soi et la qualité des relations romantiques et le style d'attachement (Erol & Orth, 2016), la prise en compte de ce concept pourrait se révéler particulièrement pertinente dans un contexte de recherche similaire à la présente étant donné ses potentielles implications dans la perception et le ressenti en situation d'exclusion sociale. De plus, une échelle de 10 items destinée à mesurer le niveau d'estime de soi existe et pourrait être aisément employée : la Rosenberg self-esteem (Rosenberg, 1965).

Quels qu'en soient – ou non – les médiateurs ou modérateurs, ces effets concernant la douleur sociale semblent s'avérer plus complexes qu'attendus, s'exprimant différemment en fonction des gens, de leur personnalité ainsi que de leur vécu.

Il pourrait aussi être intéressant d'utiliser une analyse de mouvements oculaires comme de l'eye-tracking afin de déterminer si les participant·e·s qui regardent davantage l'image supposée soutenant socialement bénéficient davantage d'effets. Cela pourrait aider à déterminer si c'est l'image ou plutôt sa valeur indiquant le fait d'être aimé·e (Master et al., 2009) qui serait importante pour voir apparaître de quelconques effets. Cela pourrait également permettre d'écarter – ou non – ce paramètre comme potentiel facteur générateur d'hétérogénéité dans les résultats.

En s'appuyant sur les commentaires des participant·e·s (commentaires oraux de 2 participant·e·s déclarant avoir ressenti que le jeu, lorsqu'ils voyaient la photo de leur partenaire romantique, avait duré moins de temps), il pourrait s'avérer intéressant de regarder la mesure dans laquelle le temps perçu de jeu est influencé par le type d'image visionné.

Dans le futur, il pourrait également être pertinent de reproduire cette étude avec un paradigme utilisant de l'imagerie cérébrale afin de vérifier que les zones supposées s'activer en situation de douleur sociale le sont bien (CCA) et que leur activité est bien diminuée quand la

tDCS anodique est utilisée sur le CPFVLd, quand l'indigage de soutien social est présent et quand les deux sont combinés. Ceci pourrait notamment permettre d'infirmier ou de confirmer certaines des hypothèses émises dans le cadre de la présente discussion.

Une autre proposition pour le futur inclut d'autres techniques neuroscientifiques : il pourrait être suggéré de réaliser cette étude à nouveau en stimulant le CPFVLd non pas à l'aide d'un outil tDCS mais de TMS. Cette seconde offre en effet une résolution spatiale bien supérieure à celle obtenable à l'aide de la première, comme discuté plus tôt (où le problème est plus largement discuté ; e. g., Keeser et al., 2011).

Dans cette étude, seul l'un des deux membres des relations amoureuses a été testé pour éviter d'obtenir des données liées. Cependant, il pourrait s'avérer intéressant de se pencher sur les deux membres de chaque relation. La qualité ou le type de relation pourraient en effet avoir une influence non-négligeable sur la manière dont chaque membre vit la relation. Cette idée a été, comme dit précédemment, supportée dans le passé (Dush & Amato, 2005). Le couple, forcément influencé par le style d'attachement de chacun ainsi que leur personnalité, aurait peut-être même une valeur davantage indicative que de simples mesures sur l'un des membres ? Notons également que la question semble particulièrement pertinente puisque l'attachement est un potentiel médiateur discuté plus tôt dans cette même section *15*.

Comme discuté dans plus tôt dans la discussion, une grande majorité des images était des photographies de visages exprimant des émotions positives. Cette consigne avait le but de maximiser l'effet positif de ces indices visuels, mais il pourrait aussi être intéressant d'explorer dans quelle mesure d'autres expressions faciales de ces mêmes personnes pourraient impacter de différentes manières le ressenti en situation de douleur sociale. La pertinence de ces types d'analyses peut se justifier par exemple par l'existence d'un effet de congruence émotionnelle, lui aussi discuté plus tôt. D'ailleurs, le manque de congruence des émotions présentées sur les images avec les émotions induites par la tâche aurait pu interférer, pouvant alors contribuer à la raison du grand nombre de scores de douleur sociale ne dépassant pas la dizaine dans aucune des conditions.

Pour finir, en référence à un point déjà abordé dans cette discussion, une piste particulièrement intéressante pourrait être d'investiguer dans quelle mesure l'amour pourrait contribuer au bien-être, et l'implication des émotions positives dans ce mécanisme. De plus, il pourrait être intéressant d'évaluer si cette valeur particulière est universelle en dépit d'autres facteurs comme le suggèrent les présents résultats. Différents contextes, autres qu'une situation de supposée douleur sociale, pourraient aussi être investigués afin d'estimer le pouvoir de l'Amour de procurer ces émotions positives – rapprochant d'une satisfaction de vie – au travers

de l'existence. La source de génération de ces affects peut aussi être questionnée : ces émotions positives sont-elles générées par le sentiment amoureux, par la qualité de la relation amoureuse, par d'autres facteurs, ou par une combinaison de certaines de ces propositions ?

## V. CONCLUSION

---

Ce mémoire s'attelait à améliorer la compréhension de l'existence persévérée de l'Amour dans le temps en considérant un effet potentiellement soulageant de ce dernier en situation d'exclusion sociale. La capacité de la tDCS, modulant le seuil d'excitabilité de la zone cérébrale apparemment liée à la régulation de la douleur sociale, à en faire de même et surtout leur combinaison était d'intérêt particulier. Aucun des effets attendus apaisant de l'image du partenaire romantique, ni analgésique de la tDCS active (anodique) sur le CPFVL droit (en diminuant l'activité du CCA) n'ont pu être ici observés. Plusieurs hypothèses sont considérées pour expliquer ce manque d'effet statistiquement significatif : l'effet du soutien social, la présence de médiateurs inattendus ou encore des erreurs (ou manques de précision) méthodologiques sont par exemple considéré·e·s. Cependant, un affect nettement plus positif – même dans le cas de la situation supposée aversive de l'exclusion sociale – a été constaté lors du visionnage de l'amoureux·se par rapport à celui de l'ami·e. Ces émotions positives augmentées de manière uniforme malgré la grande variabilité des affects négatifs à la suite de l'exclusion au Cyberball game pourrait encourager à penser au premier effet (positif) comme ayant une incidence relativement robuste. Cela pourrait être une source de réflexion quant aux capacités de l'amour à subsister au fil des âges : l'amour rend-il plus heureux ?

## VI. BIBLIOGRAPHIE

---

- Aron, A., Fisher, H. & Strong, G. (2018). Romantic Love. Dans D. Perlman & A. L. Vangelisti (dirs.), *The Cambridge Handbook of Personal Relationships* (pp. 595-614). <https://doi.org/10.1017/9781316417867.002>
- Babaeeghazvini, P., Rueda-Delgado, L. M., Gooijers, J., Swinnen, S. P., & Daffertshofer, A. (2021). Brain structural and functional connectivity: A review of combined works of diffusion magnetic resonance imaging and electro-encephalography. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15, 721206.
- Bolling, D. Z., Pitskel, N. B., Deen, B., Crowley, M. J., McPartland, J. C., Mayes, L. C., & Pelfhrey, K. A. (2011). Dissociable brain mechanisms for processing social exclusion and rule violation. *NeuroImage*, 54(3), 2462–2471. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.049>
- Brembs, B., Button, K., & Munafò, M. (2013). Deep impact: unintended consequences of journal rank. *Frontiers in human Neuroscience*, 291.
- Brunoni, A. R., Amadera, J., Berbel, B., Volz, M. S., Rizzerio, B. G., & Fregni, F. (2011). A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 14(8), 1133–1145. <https://doi.org/10.1017/S1461145710001690>
- Button, K. S., Ioannidis, J. P., Mokrysz, C., Nosek, B. A., Flint, J., Robinson, E. S., & Munafò, M. R. (2013). Power failure: why small sample size undermines the reliability of neuroscience. *Nature reviews neuroscience*, 14(5), 365-376.
- Caulfield, K. A., & George, M. S. (2021). Optimizing transcranial direct current stimulation (tDCS) electrode position, size, and distance doubles the on-target cortical electric field: Evidence from 3000 Human Connectome Project models. *BioRxiv*, 2021.11.21.469417.
- Campbell, L., Simpson, J. A., Boldry, J., & Kashy, D. A. (2005). Perceptions of Conflict and Support in Romantic Relationships: The Role of Attachment Anxiety. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88(3), 510–531. doi:10.1037/0022-3514.88.3.510
- Chalmers, J. (2023). A Measure of Romantic Love: The Psychometric Properties of the Love Bank Inventory. *Journal of Research in Psychology*, 4(2), 49–68. <https://doi.org/10.31580/jrp.v4i2.2622>
- Che, X., Cash, R., Ng, S. K., Fitzgerald, P., & Fitzgibbon, B. M. (2018). A Systematic Review of the Processes Underlying the Main and the Buffering Effect of Social Support on the Experience of Pain. In *Clinical Journal of Pain* (Vol. 34, Issue 11). <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000624>
- Christopher Nolan (2014), *Interstellar*. Warner Bros.

- Coan, J. A., Beckes, L., Gonzalez, M. Z., Maresh, E. L., Brown, C. L., & Hasselmo, K. (2017). Relationship status and perceived support in the social regulation of neural responses to threat. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *12*(10), 1574–1583. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx091>
- Coan, J. A., Schaefer, H. S., & Davidson, R. J. (2006). Lending a hand: Social regulation of the neural response to threat. *Psychological Science*, *17*(12), 1032–1039. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01832.x>
- Cohen, J. R., Berkman, E. T., & Lieberman, M. D. (2014). Intentional and Incidental Self-Control in Ventrolateral Prefrontal Cortex. *Principles of Frontal Lobe Function, May 2014*, 417–440. <https://doi.org/10.1093/med/9780199837755.003.0030>
- Crawford, J. R., & Henry, J. D. (2004). The Positive and Negative Affect Schedule (PANAS): Construct validity, measurement properties and normative data in a large non-clinical sample. *British Journal of Clinical Psychology*, *43*(3), 245–265. <https://doi.org/10.1348/0144665031752934>
- Dumas-Mallet, E., Button, K. S., Boraud, T., Gonon, F., & Munafò, M. R. (2017). Low statistical power in biomedical science: a review of three human research domains. *Royal Society open science*, *4*(2), 160254.
- Dush, C. M. K., & Amato, P. R. (2005). Consequences of relationship status and quality for subjective well-being. *Journal of Social and Personal Relationships*, *22*(5), 607–627.
- Eisenberger, N. I. (2012a). Broken hearts and broken bones: A neural perspective on the similarities between social and physical pain. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(1), 42–47. <https://doi.org/10.1177/0963721411429455>
- Eisenberger, N. I. (2012b). The neural bases of social pain: Evidence for shared representations with physical pain. *Psychosomatic Medicine*, *74*(2), 126–135. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3182464dd1>
- Eisenberger, N. I. (2015). Social pain and the brain: Controversies, questions, and where to go from here. *Annual Review of Psychology*, *66*, 601–629. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115146>
- Eisenberger, N. I., Lieberman, M. D., & Williams, K. D. (2003). Does rejection hurt? An fMRI study of social exclusion. *Science*, *302*(5643), 290–292. <https://doi.org/10.1126/science.1089134>
- Eisenberger, N. I., Master, S. L., Inagaki, T. K., Taylor, S. E., Shirinyan, D., Lieberman, M. D., & Naliboff, B. D. (2011). Attachment figures activate a safety signal-related neural region and reduce pain experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(28), 11721–11726. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108239108>
- Erol, R. Y., & Orth, U. (2017). Self-esteem and the quality of romantic relationships. *European Psychologist*.

- Feybesse, C., Coudin, G., & Hatfield, E. (2015). Evaluation de l'amour passionnel: adaptation et validation en version française de l'instrument Passionate Love Scale (PLS) [Thèse de doctorat].
- Freedman, L. P., Cockburn, I. M., & Simcoe, T. S. (2015). The economics of reproducibility in preclinical research. *PLoS biology*, 13(6), e1002165.
- Gaudreau, P., Sanchez, X., & Blondin, J. P. (2006). Positive and negative affective states in a performance-related setting testing the factorial structure of the PANAS across two samples of French-Canadian participants. *European Journal of Psychological Assessment*, 22(4), 240–249. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.22.4.240>
- Gonon, F., Konsman, J. P., Cohen, D., & Boraud, T. (2012). Why most biomedical findings echoed by newspapers turn out to be false: The case of attention deficit hyperactivity disorder.
- Graham, J. M. (2011). Measuring love in romantic relationships: A meta-analysis. *Journal of Social and Personal Relationships*, 28(6), 748–771. <https://doi.org/10.1177/0265407510389126>
- Hartgerink, C. H. J., Van Beest, I., Wicherts, J. M., & Williams, K. D. (2015). The ordinal effects of ostracism: A meta-analysis of 120 cyberball studies. *PLoS ONE*, 10(5), 1–24. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127002>
- Hatfield, E., & Sprecher, S. (1986). Measuring passionate love in intimate relationships. *Journal of adolescence*, 9(4), 383-410.
- Hatfield, E., & Sprecher, S. (2010). The passionate love scale. In T. D. Fisher, C. M. Davis, W. L. Yaber, & S. L. Davis (Eds.), *Handbook of sexuality-related measures: A compendium* (3rd Ed.) (pp. 469–472). Thousand Oaks, CA: Taylor & Francis.
- He, Z., Lin, Y., Xia, L., Liu, Z., Zhang, D., & Elliott, R. (2018). Critical role of the right VLPFC in emotional regulation of social exclusion: A tDCS study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13(4), 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*. <https://doi.org/10.1017/S0033291719002915>
- He, Z., Zhao, J., Shen, J., Muhlert, N., Elliott, R., & Zhang, D. (2020). The right VLPFC and downregulation of social pain: A TMS study. *Human Brain Mapping*, 41(5), 1362–1371. <https://doi.org/10.1002/hbm.24881>
- Hermann, A. D., Skulborstad, H. M., & Wirth, J. H. (2014). Inoculating against the aversive effects of ostracism with acceptance: The role of attachment styles. *Social Influence*, 9(4), 255-271.
- Jakubiak, B. K., & Feeney, B. C. (2016). Keep in touch: The effects of imagined touch support on stress and exploration. *Journal of Experimental Social Psychology*, 65, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2016.04.001>

- JASP Team (2023). JASP (Version 0.17.1)[Computer software]
- Kansky J. (2018). What's love got to do with it? Romantic relationships and well-being. *Handbook of Well-Being*, 1–24.  
<https://www.nobascholar.com/chapters/10/download.pdf>
- Karos, K. (2018). On the Overlap Between Physical and Social Pain. Dans Vervoort, T., & Karos, K. (2018). *Social and Interpersonal Dynamics in Pain*. In *Social and Interpersonal Dynamics in Pain* (p. 173-195). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78340-6>
- Kim, D. (2022). *Physical Pain and Social Pain : Does a Bidirectional Relationship Exist ? The Overlap of Physical and Social Pain Processing*. 11(3), 1–6.
- Kim, J., & Hatfield, E. (2004). LOVE TYPES AND SUBJECTIVE WELL-BEING: A CROSS-CULTURAL STUDY. *Social Behavior and Personality: An International Journal*, 32(2), 173–182. doi:10.2224/sbp.2004.32.2.173
- Krahé, C., Springer, A., Weinman, J. A., & Fotopoulou, A. (2013). The social modulation of pain: Others as predictive signals of salience - a systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(JUL), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00386>
- Kurdi, B., Lozano, S., & Banaji, M. R. (2017). Introducing the Open Affective Standardized Image Set (OASIS). *Behavior Research Methods*, 49(2), 457–470.  
<https://doi.org/10.3758/s13428-016-0715-3>
- Marchewka, A., Żurawski, Ł., Jednoróg, K., & Grabowska, A. (2014). 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>
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological review*, 50(4), 370.
- McLeod, S. (2007). Maslow's hierarchy of needs. *Simply psychology*, 1(1-18).
- Morriss, J., Bell, T., Johnstone, T., van Reekum, C. M., & Hill, J. (2019). Social domain based modulation of neural responses to threat: The different roles of romantic partners versus friends. *Social Neuroscience*, 14(4), 398–408.  
<https://doi.org/10.1080/17470919.2018.1486735>
- Newby, J. L., & Klein, R. G. (2014). Competitiveness Reconceptualized: Psychometric Development of the Competitiveness Orientation Measure as a Unified Measure of Trait Competitiveness. *Psychological Record*, 64(4), 879–895.  
<https://doi.org/10.1007/s40732-014-0083-2>
- Niedenthal, P. M., & Wood, A. (2019). Does emotion influence visual perception? Depends on how you look at it. *Cognition and Emotion*, 33(1), 77–84.  
<https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1561424>

- Nilakantan, A., Younger, J., Aron, A., & Mackey, S. (2014). Preoccupation in an early-romantic relationship predicts experimental pain relief. *Pain medicine*, *15*(6), 947-953. <Riva, P., Lauro, L. J. R., Nathan DeWall, C., Chester, D. S., & Bushman, B. J. (2015). Reducing aggressive responses to social exclusion using transcranial direct current stimulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *10*(3), 352–356. <https://doi.org/10.1093/scan/nsu053>
- Nosek, B. A. et al. (2015). Promoting an open research culture. *Science* *348*, 1422-1425. DOI:10.1126/science.aab2374
- Onoda, K., Okamoto, Y., Nakashima, K., Nittono, H., Yoshimura, S., Yamawaki, S., Yamaguchi, S., & Ura, M. (2010). Does low self-esteem enhance social pain? The relationship between trait self-esteem and anterior cingulate cortex activation induced by ostracism. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *5*(4), 385–391. <https://doi.org/10.1093/scan/nsq002>
- Riva, P., Romero Lauro, L. J., DeWall, C. N., & Bushman, B. J. (2012). Buffer the Pain Away: Stimulating the Right Ventrolateral Prefrontal Cortex Reduces Pain Following Social Exclusion. *Psychological Science*, *23*(12), 1473–1475. <https://doi.org/10.1177/0956797612450894>
- Riva, P., Romero Lauro, L. J., DeWall, C. N., Chester, D. S., & Bushman, B. J. (2015a). Reducing aggressive responses to social exclusion using transcranial direct current stimulation. *Social cognitive and affective neuroscience*, *10*(3), 352-356.
- Riva, P., Romero Lauro, L. J., Vergallito, A., DeWall, C. N., & Bushman, B. J. (2015b). Electrified emotions: Modulatory effects of transcranial direct stimulation on negative emotional reactions to social exclusion. *Social Neuroscience*, *10*(1), 46–54. <https://doi.org/10.1080/17470919.2014.946621>.
- Riva, P., Wirth, J. H., & Williams, K. D. (2011). The consequences of pain: The social and physical pain overlap on psychological responses. *European Journal of Social Psychology*, *41*(6), 681–687. <https://doi.org/10.1002/ejsp.837>
- Rosenberg, M. (1965). *Rosenberg Self-Esteem Scale (RSES)* [Database record]. APA PsycTests. <https://doi.org/10.1037/t01038-000>
- Rotge, J. Y., Lemogne, C., Hinfrey, S., Huguet, P., Grynszpan, O., Tartour, E., George, N., & Fossati, P. (2015). A meta-analysis of the anterior cingulate contribution to social pain. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *10*(1), 19–27. <https://doi.org/10.1093/scan/nsu110>
- RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>
- Ryckman, R. M., Thornton, B., Gold, J. A., & Burckle, M. A. (2002). Romantic relationships of hypercompetitive individuals. *Journal of Social and Clinical Psychology*, *21*(5), 517–530. <https://doi.org/10.1521/jscp.21.5.517.22619>

- Simpson, J. A., & Rholes, W. S. (2017). Adult attachment, stress, and romantic relationships. *Current Opinion in Psychology*, 13, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2016.04.006>
- Szkody, E., & Mckinney, C. (2019). Social Support Versus Emotion Regulation: Mediators of Attachment and Psychological Problems After Social Exclusion. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 38(10), 882–905. doi:10.1521/jscp.2019.38.10.882
- Thornton, B., Ryckman, R. M., & Gold, J. A. (2011). Hypercompetitiveness and Relationships: Further Implications for Romantic, Family, and Peer Relationships. *Psychology*, 02(04), 269–274. <https://doi.org/10.4236/psych.2011.24043>
- Trilla, I., Weigand, A., & Dziobek, I. (2021). Affective states influence emotion perception: evidence for emotional egocentricity. *Psychological Research*, 85(3), 1005–1015. <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01314-3>
- van Beest, I., & Williams, K. D. (2004). *€yberball and Cyberbomb: Effects of ostracism when inclusion is costly*. Unpublished manuscript, Leiden University, Leiden, The Netherlands.
- 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(May), 128–135. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.07.037>
- Vergallito, A., Feroldi, S., Pisoni, A., & Romero Lauro, L. J. (2022). Inter-individual variability in tDCS effects: A narrative review on the contribution of stable, variable, and contextual factors. *Brain Sciences*, 12(5), 522.
- Viswesvaran, C., Sanchez, J. I., & Fisher, J. (1999). The Role of Social Support in the Process of Work Stress: A Meta-Analysis. *Journal of Vocational Behavior*, 54(2), 314–334. <https://doi.org/10.1006/jvbe.1998.1661>
- Wager, T. D., Davidson, M. L., Hughes, B. L., Lindquist, M. A., & Ochsner, K. N. (2008). Prefrontal-Subcortical Pathways Mediating Successful Emotion Regulation. *Neuron*, 59(6), 1037–1050. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.09.006>
- Wang, H., Braun, C., & Enck, P. (2017). How the brain reacts to social stress (exclusion) – A scoping review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 80(May), 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.05.012>
- Williams, K. D., Cheung, C. K. T., & Choi, W. (2000). Cyberostracism: Effects of being ignored over the internet. *Journal of Personality and Social Psychology*, 79(5), 748–762. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.79.5.748>
- Williams, K.D., Jarvis, B. (2006) Cyberball: A program for use in research on interpersonal ostracism and acceptance. *Behavior Research Methods* 38, 174–180 (2006). <https://doi.org/10.3758/BF03192765>
- Williams, K. D. (2009). Ostracism: A temporal need-threat model. *Advances in experimental social psychology*, 41, 275–314.

Younger, J., Aron, A., Parke, S., Chatterjee, N., & Mackey, S. (2010). Viewing pictures of a romantic partner reduces experimental pain: Involvement of neural reward systems. *PLoS ONE*, 5(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013309>

## VII. ANNEXES

---

### Annexe 1.

#### Protocole – Mémoire

1. Lettre d'informations et consentement en ligne.
2. Questionnaire socio-démographique.
3. Fournir les photos demandées (cf. Méthodologie).

Hors laboratoire

4. Remplir l'échelle d'amour (PLS).
5. Placement de l'appareil tDCS.
6. Consignes du jeu (y compris la partie liée au visionnage d'image).
7. Entraînement (**Figure 7**)
8. Partie 1 : Cyberball avec stimulation ou SHAM et image ami.e – amoureux.se.
9. Questionnaire 1<sup>e</sup> fois (**Annexe 4**)
10. Partie 2 : Cyberball avec stimulation ou SHAM et image amoureux.se – ami.e.
11. Questionnaire 2<sup>e</sup> fois (**Annexe 4**)  
+ Questionnaire sur l'inconfort provoqué par l'outillage tDCS (**Annexe 5**)

Session 1 : en laboratoire

Lancement de la stimulation

Après 5 min de stimulation

± 1 semaine

12. Placement de l'appareil tDCS.
13. Consignes du jeu (y compris la partie liée au visionnage d'image).
14. Entraînement (**Figure 7**)
15. Partie 1 : Cyberball avec SHAM ou stimulation et image amoureux.se – ami.e.
16. Questionnaire 1<sup>e</sup> fois (**Annexe 4**)
17. Partie 2 : Cyberball avec SHAM ou stimulation et image ami.e – amoureux.se.
18. Questionnaire 2<sup>e</sup> fois (**Annexe 4**)  
+ Questionnaire sur l'inconfort provoqué par l'outillage tDCS (**Annexe 5**)  
+ Questionnaire connaissance préalable Cyberball (**Annexe 7**) + commentaires (écrits)
19. Débriefing

Session 2 : en laboratoire

Lancement de la stimulation

Après 5 min de stimulation

## Annexe 2. Format du comité d'éthique hospitalo-facultaire du formulaire d'informations et de consentement.

Titre de l'étude : L'effet de la stimulation transcrânienne par courant continu (tDCS) sur la perception visuelle et sociale : influence du visage du partenaire amoureux.

Promoteur de l'étude : ULiège - PsyNCog

Comité d'Éthique : Comité d'Éthique hospitalo-facultaire (Université de Liège) et Comité d'Éthique de la faculté de la FPLSE (Université de Liège).

Investigateurs locaux : Michel Hansenne, Marine Saint-Mard

### Information essentielle à votre décision de participer

#### Introduction

Vous êtes invité.e à participer à une étude destinée à investiguer l'impact de la stimulation transcrânienne sur la perception visuelle et sociale.

Avant que vous n'acceptiez de participer à cette étude, nous vous invitons à prendre connaissance de ce que cela implique en termes d'organisation, avantages et risques éventuels, afin que vous puissiez prendre une décision informée. Ceci s'appelle donner un « consentement éclairé ».

Veillez lire attentivement ces quelques pages d'information et poser toutes les questions que vous souhaitez à l'investigateur ou à la personne qui le représente. Ce document comprend 3 parties : l'information essentielle à votre prise de décision, votre consentement écrit et des informations complémentaires (annexes) qui détaillent certaines parties de l'information de base.

#### Si vous participez à cette recherche, vous devez savoir que :

- Cette étude clinique est mise en œuvre après évaluation par plusieurs comités d'éthique.
- Votre participation est volontaire et doit rester libre de toute contrainte. Elle nécessite la signature d'un document exprimant votre consentement. Même après l'avoir signé, vous pouvez arrêter de participer en informant le médecin investigateur. Votre décision de ne pas ou de ne plus participer à l'étude n'aura aucun impact sur vos relations avec l'investigateur.
- Aucun frais ne vous sera facturé pour les examens liés à cette étude.
- Les données recueillies à cette occasion sont confidentielles et votre anonymat est garanti lors de la publication des résultats.
- Une assurance a été souscrite au cas où vous subiriez un dommage lié à votre participation à cette recherche.
- Vous pouvez toujours contacter l'investigateur ou un membre de son équipe si vous avez besoin d'informations complémentaires.

Un complément d'informations sur vos « Droits de participant à une étude clinique » est fourni en annexe.

### Description du protocole de l'étude

#### Justification et objectifs de l'étude

La tâche à laquelle vous allez participer est informatisée et ludique et nous permettra d'étudier l'influence d'un indice visuel de votre partenaire ainsi que celle d'une technique de stimulation cérébrale sur vos performances à cette tâche.

#### Déroulement de l'étude (sujets à aborder)

Avant et après la tâche citée ci-dessus, nous vous demanderons de répondre à quelques questions vous concernant ou portant sur votre ressenti. Cette tâche se déroulera dans une salle de l'Université de Liège qui nous permettra de vous installer le matériel de stimulation. Cette étude se déroulera en deux sessions d'environ une heure maximum à l'Université de

Liège, quartier Agora. Vous ne devez rien apporter de particulier les jours de vos rendez-vous. Lors de ces sessions, vous serez exposé à une stimulation transcrânienne à courant discontinu qui consiste à appliquer un courant de faible intensité (indolore) entre deux électrodes placées sur le crâne. Cette technique est fréquemment utilisée en neurosciences depuis plusieurs années et ne provoque aucuns désagréments à court et à long terme. Il vous sera également demandé de répondre à quelques questions concernant votre ressenti.

**Si vous participez à cette recherche, nous vous demandons :**

- De collaborer pleinement au bon déroulement de cette recherche.
- De ne rien masquer comme information au sujet de votre état de santé ou de symptômes que vous ressentez.

**Contact**

Si vous avez besoin d'informations complémentaires, mais aussi en cas de problème ou d'inquiétude, vous pouvez contacter l'investigateur (Dr, Hansenne Michel) ou un membre de son équipe de recherche (Saint-Mard Marine) au numéro de téléphone suivant (04/70.43.05.61).

Si vous avez des questions relatives à vos droits de participant à une étude clinique, vous pouvez contacter le médiateur des droits du patient de votre institution via le numéro de téléphone : 04/323.35.84.

### Consentement éclairé

#### Participant

Je déclare que j'ai été informé sur la nature de l'étude, son but, sa durée, les effets secondaires éventuels et ce que l'on attend de moi. J'ai pris connaissance du document d'information et des annexes à ce document.

J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions qui me sont venues à l'esprit et j'ai obtenu une réponse satisfaisante à mes questions.

J'ai compris que ma participation à cette étude est volontaire et que je suis libre de mettre fin à ma participation à cette étude sans que cela ne modifie mes relations avec l'investigateur.

J'ai compris que des données me concernant seront récoltées pendant toute ma participation à cette étude et que l'investigateur et le promoteur se portent garant de la confidentialité de ces données.

Je consens au traitement de mes données personnelles selon les modalités décrites dans la rubrique traitant de garanties de confidentialité (annexe p.4 et 5).

J'accepte / n'accepte pas (biffer la mention inutile) que les données de recherche récoltées pour les objectifs de la présente étude puissent être traitées ultérieurement pour autant que ce traitement soit limité au contexte de la présente étude et soumis à l'approbation du comité d'éthique.

J'ai reçu une copie de l'information au participant et du consentement éclairé.

Nom, Prénom, date et signature du volontaire.

#### Investigateur

Je soussigné, Hansenne Michel, chercheur investigateur, confirme avoir fourni oralement les informations nécessaires sur l'étude et avoir fourni un exemplaire du document d'information au participant.

Je confirme qu'aucune pression n'a été exercée pour que le patient 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 « Déclaration d'Helsinki », dans les « Bonnes pratiques Cliniques » et dans la loi belge du 7 mai 2004, relative aux expérimentations sur la personne humaine.

Nom, prénom, date et signature du représentant de l'investigateur

Nom, prénom, date et signature de l'investigateur

L'effet de la stimulation transcrânienne sur la perception visuelle et sociale des personnes amoureuses.

## **Annexe « Droits et protection du participant »**

### **Comité d'Ethique**

Cette étude a été évaluée par un Comité d'Ethique indépendant, à savoir le Comité d'Ethique Hospitalo-Facultaire Universitaire de Liège, qui a émis un avis favorable après consultation du Comités d'Ethique de la FPLSE. Les Comités d'Ethique ont pour tâche de protéger les personnes qui participent à une étude clinique. Ils s'assurent que vos droits en tant que patient et en tant que participant à une étude clinique sont respectés, qu'au vu des connaissances actuelles, la balance entre risques et bénéfices reste favorable aux participants, que l'étude est scientifiquement pertinente et éthique. En aucun cas vous ne devez prendre l'avis favorable du Comité d'Ethique comme une incitation à participer à cette étude.

### **Participation volontaire et coûts associés à votre participation**

Avant de signer, n'hésitez pas à poser toutes les questions que vous jugez utiles. Prenez le temps d'en parler à une personne de confiance si vous le souhaitez.

Votre participation à l'étude est volontaire et doit rester libre de toute contrainte : ceci signifie que vous avez le droit de ne pas y participer ou de vous retirer sans justification même si vous aviez accepté préalablement d'y participer. Votre décision ne modifiera en rien vos relations avec l'investigateur.

Si vous acceptez de participer à cette étude, vous signerez le formulaire de consentement éclairé. L'investigateur signera également ce formulaire et confirmera ainsi qu'il vous a fourni les informations nécessaires sur l'étude. Vous recevrez l'exemplaire qui vous est destiné.

Si vous décidez de participer à cette étude, ceci n'entraînera pas de frais pour vous ou votre organisme assureur.

Vous ne serez pas payé pour votre participation.

### **Garantie de confidentialité**

Votre participation à l'étude signifie que vous acceptez que l'investigateur recueille des données vous concernant et les utilise dans un objectif de recherche.

Vous avez le droit de demander à l'investigateur quelles sont les données collectées à votre sujet et quelle est leur utilité dans le cadre de l'étude. Vous disposez d'un droit de regard sur ces données et le droit d'y apporter des rectifications au cas où elles seraient incorrectes<sup>1</sup>.

L'investigateur a un devoir de confidentialité vis à vis des données collectées.

Ceci veut dire qu'il s'engage non seulement à ne jamais divulguer votre nom dans le cadre d'une publication ou d'une conférence mais aussi qu'il prendra toutes les mesures indispensables à la protection de vos données (protection des documents sources, code d'identification, protection par mot de passe des bases de données créées)<sup>2</sup>. Les données

<sup>1</sup> Ces droits vous sont garantis par la loi du 8 décembre 1992 (amendée par la loi du 11 décembre 1998) suivie de la directive 95/46/CE du 24 octobre 2002 qui protège la vie privée et par les droits des patients définis par la loi du 22 août 2002.

<sup>2</sup> En pratique, il constituera 2 bases de données différentes. L'une contiendra des données identifiantes comme vos nom, prénom, numéro de téléphone, numéro de dossier à l'hôpital et un code d'identification qu'il créera. L'investigateur ou un membre de son équipe seront les seuls détenteurs de cette première base de données. Votre code d'identification sera utilisé dans la 2de base de données en regard de tous les résultats expérimentaux recueillis pendant votre participation à l'étude. Cette 2de base de données peut être conservée indéfiniment. Ces 2 bases de données seront conservées séparément et seront protégées par un mot de passe. Si l'investigateur confie vos données pour traitement statistique, seule la seconde base de données sera confiée à cette tierce personne.

personnelles collectées ne contiendront pas d'association d'éléments qui puissent permettre de malgré tout vous identifier<sup>3</sup>. L'investigateur et son équipe seront les seuls à pouvoir faire le lien entre les données de recherche et votre identité<sup>4</sup>.

L'investigateur s'engage à utiliser les données collectées uniquement dans le cadre de l'étude à laquelle vous participez.

Si vous retirez votre consentement à participer à l'étude, afin de garantir la validité de la recherche, les données codées jusqu'au moment de votre interruption seront conservées.

### **Assurance**

Toute participation à une étude clinique comprend un risque aussi petit soit-il. Le promoteur assume, même en l'absence de faute, la responsabilité du dommage causé au participant (ou à ses ayants droit) et lié de manière directe ou indirecte aux expériences réalisées. Le promoteur a souscrit un contrat d'assurance<sup>5</sup> de cette responsabilité (Ethias Assurance, Police n°45.425.367, [www.ethias.be](http://www.ethias.be) ou [info.assurance@ethias.be](mailto:info.assurance@ethias.be), Tel : 04/220.31.11). En cas de désaccord soit avec l'investigateur, soit avec l'expert nommé par la compagnie d'assurances ainsi que chaque fois que vous l'estimeriez utile, vous ou vos ayants droit (votre famille) pouvez assigner l'assureur directement en Belgique

---

<sup>3</sup> La base de données contenant les résultats de l'étude ne contiendra donc pas d'association d'éléments comme vos initiales, votre sexe et votre date de naissance complète (jj/mm/aaaa).

<sup>4</sup> L'intégrité dans la recherche scientifique suppose que les résultats d'une recherche puissent être vérifiés, même après publication des résultats. Il est recommandé de conserver le lien entre données de recherche et identité du participant au moins 5 ans après la publication des résultats. Pour les essais cliniques (études sur médicaments), la loi oblige à conserver ce lien durant 20 ans.

<sup>5</sup> Conformément à l'article 29 de la loi belge relative aux expérimentations sur la personne humaine (7 mai 2004)

**Annexe 3.** Consignes du Cyberball incluant en prime la consigne de visualisation de l'image affichée à l'écran.

### Consignes du jeu

Bienvenue dans le Cyberball, le Jeu de Lancers de Ballon Interactif Utilisé pour la Visualisation Mentale !

Dans l'expérience qui va suivre, nous testons les effets de l'entraînement à la visualisation sur la performance à la tâche. Donc, nous avons besoin que vous exerciez vos capacités de visualisation mentale. Nous avons constaté que la meilleure manière de se faire est de vous faire jouer à ce jeu d'échanges de balle en ligne avec d'autres participants qui sont connectés au même moment.

Dans un instant, vous allez jouer à un jeu d'échanges de ballon avec d'autres personnes connectées à notre réseau. Le jeu est très simple. Quand la balle vous est lancée, cliquez simplement sur le nom du joueur ou de la joueuse à qui vous voulez le lancer à votre tour. Quand le jeu sera terminé, l'expérimentateur vous donnera de nouvelles instructions.

Ce qui est important n'est pas votre performance, mais que vous **VISUALISIEZ MENTALEMENT** l'expérience entière. Imaginez les personnes avec qui vous jouez. À quoi ressemblent-elles ? Quel genre de personnes sont-elles ? Où êtes-vous en train de jouer ? Fait-il chaud et ensoleillé ou froid et pluvieux ? Créez dans votre tête une image mentale de ce qui pourrait se passer si vous jouiez à ce jeu dans la vie réelle.

Pendant toute la durée du jeu, une photographie restera affichée à l'écran : nous vous demandons aussi d'imaginer que la personne présentée sur la photo est à vos côtés pendant que vous prenez part au jeu. Essayez de ressentir sa présence de manière aussi vive que possible. Tant que vous restez concentré sur la partie, vous pouvez regarder cette image autant que vous voulez, par exemple pour vous aider à imaginer sa présence à vos côtés et la sensation que cette dernière vous évoque.

Okay, prêt-e à commencer ? Appuyez sur PLAY quand vous êtes prêt-e.

**Note :** la consigne concernant le Cyberball en lui-même a simplement été traduite de l'anglais (certains passages ont été légèrement adaptés pour pouvoir accueillir le nouveau paragraphe). Le dernier paragraphe, indiquant comment se comporter au sujet de l'image affichée à l'écran, a été élaboré dans le cadre de ce mémoire et ne figure donc pas dans la consigne initiale du jeu.

## Annexe 4. Questionnaire post-partie.

### Page 1 :



Sur une échelle de 0 à 100, à quel point avez-vous eu la sensation d'être en présence de la personne sur la photographie pendant le jeu en l'imaginant ?



Pendant le jeu, à combien estimeriez-vous votre niveau d'implication ?



(1 = pas du tout impliqué ; 7 = très impliqué dans la tâche)



À quel pourcentage pensez-vous avoir reçu la balle durant le jeu ?



### Page 2 :



Sur une échelle de 0 à 100, veuillez indiquer à quel point vous avez ressenti une sensation d'inconfort, de malaise ou de souffrance pendant le jeu auquel vous avez pris part.



### Page 3 :

## Questionnaire PANAS (questionnaire d'émotions positives et négatives du moment présent) et sa consigne.

Ce questionnaire contient des adjectifs qui décrivent des sentiments et des émotions. Nous vous invitons à lire chacun de ces adjectifs. Pour chacun de ces adjectifs, il vous est demandé d'indiquer à quel point il décrit comment vous vous sentez présentement.

Pour ce faire, vous devez utiliser le choix de réponses suivant :

1. Très peu ou pas du tout
2. Peu
3. Modérément
4. Beaucoup
5. Énormément

Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Nous voulons savoir comment VOUS vous sentez présentement.

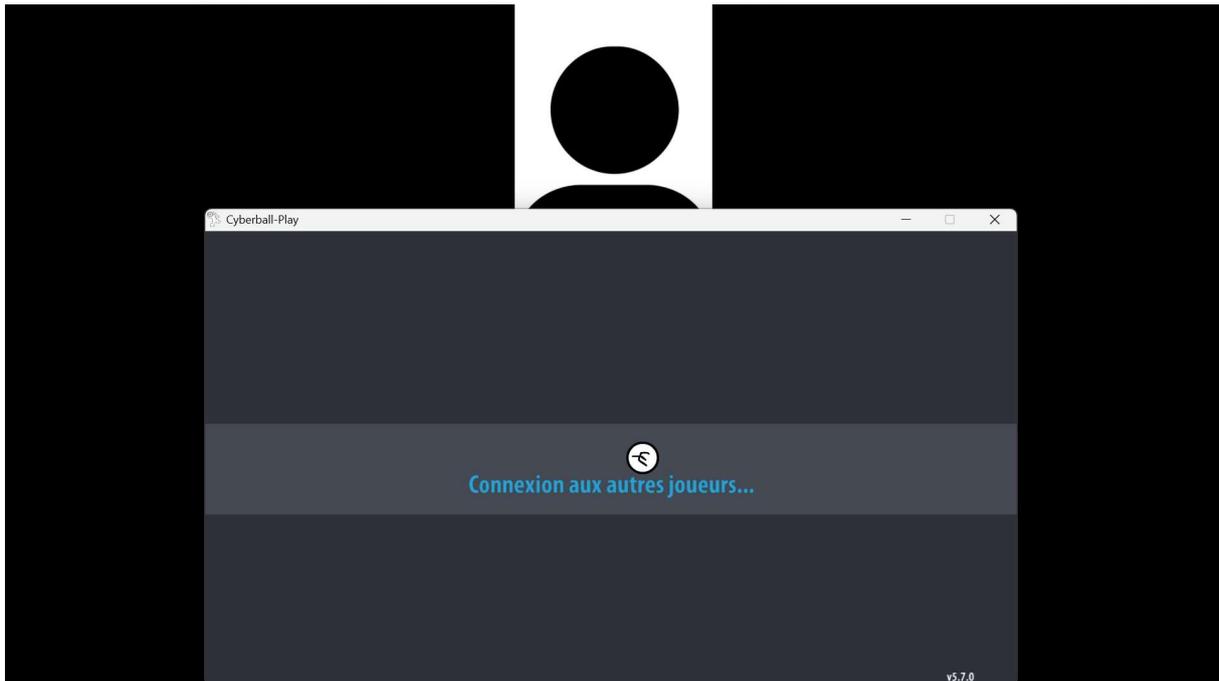
	Très peu ou pas du tout	Peu	Modéré- ment	Beau- coup	Énormé- ment
1. Intéressé(e)	1	2	3	4	5
2. Angoissé(e)	1	2	3	4	5
3. Excité(e)	1	2	3	4	5
4. Fâché(e)	1	2	3	4	5
5. Fort(e)	1	2	3	4	5
6. Coupable	1	2	3	4	5
7. Effrayé(e)	1	2	3	4	5
8. Hostile	1	2	3	4	5
9. Enthousiaste	1	2	3	4	5
10. Fier(e)	1	2	3	4	5
11. Irrité(e)	1	2	3	4	5
12. Alert(e)	1	2	3	4	5
13. Honteux(se)	1	2	3	4	5
14. Inspiré(e)	1	2	3	4	5
15. Nerveux(se)	1	2	3	4	5
16. Déterminé(e)	1	2	3	4	5
17. Attentif(ve)	1	2	3	4	5
18. Agité(e)	1	2	3	4	5
19. Actif(ve)	1	2	3	4	5
20. Craintif(ve)	1	2	3	4	5

**Annexe 5.** Questionnaire sur les effets secondaires liés à l'application de la tDCS, traduction française (administré en fin de chaque session).

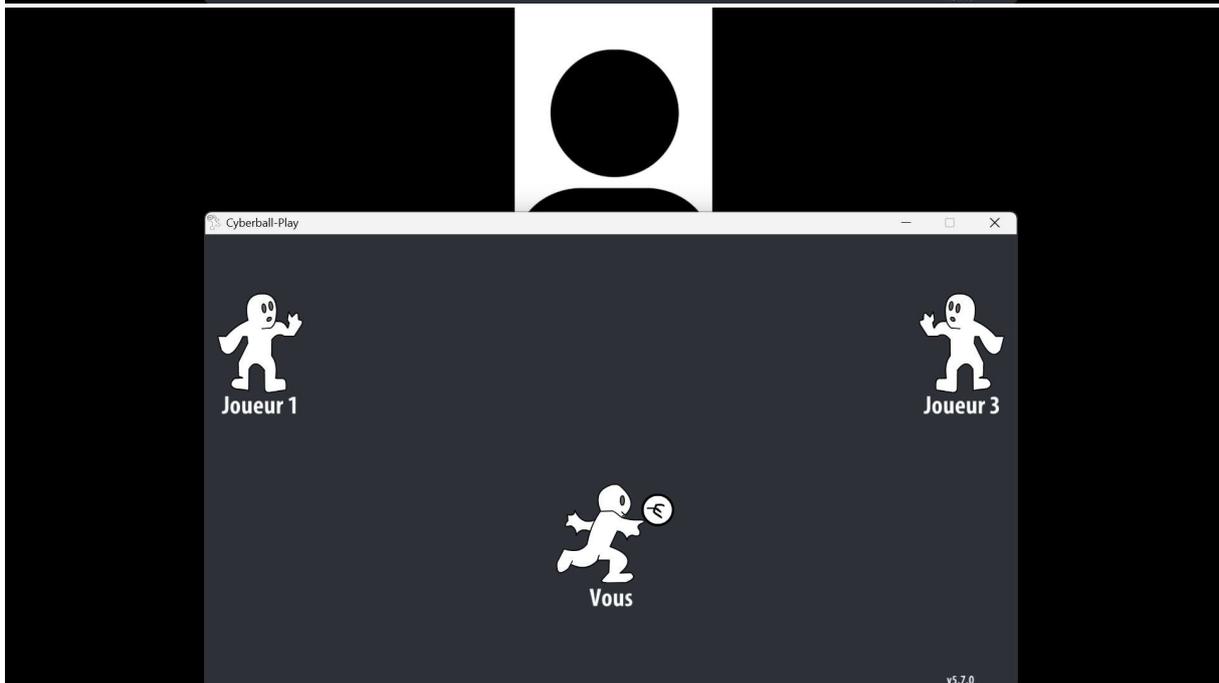
Avez-vous ressenti l'un des symptômes ou effet suivants ?	Intensité (1, aucune ; 2, légère ; 3, moyenne ; 4, importante)	Lien avec la tDCS (1, aucun ; 2, mince ; 3, possible ; 4, probable ; 5, certain)
Mal de tête		
Mal à la nuque		
Mal au crâne		
Picotements		
Démangeaison		
Sensation de brûlure		
Rougeur de la peau		
Sensation de sommeil		
Difficulté de concentration		
Changement d'humeur		
Autres		

**Annexe 6.** Image (mouvante) de chargement de la partie (A) avant d'arriver sur le jeu (B).

A.



B.



*Note :*

**Annexe 7.** Question de vérification de non-connaissance du Cyberball avant la venue en laboratoire.



Connaissiez-vous la tâche à laquelle vous venez de participer (Cyberball game) ?



oui



non

*Note :* il était précisé à l'oral que la question portait sur une connaissance du jeu avant la première venue au laboratoire.

## **Annexe 8.** Débriefing lu aux participant·e·s au terme des deux sessions.

### **Débriefing**

Vous venez de participer à une étude qui s'intéressait à l'influence d'un indice visuel de votre partenaire sur la douleur sociale. Cette dernière est censée avoir été induite par la tâche de lancer de balle à laquelle vous avez joué en ligne. En plus de cela, nous nous intéressions à l'impact de la stimulation transcrânienne sur cette douleur sociale ainsi que sa combinaison avec le visionnage de l'image de votre amoureux·se.

Plus précisément, ce qui nous intéressait particulièrement était de voir si visionner l'image de la personne dont vous êtes amoureux·se, la tDCS et leur action combinée pouvait aider à diminuer votre ressenti de douleur sociale due à l'exclusion que vous avez subi durant le jeu d'échanges de balle.

Est-ce que vous vous doutiez du but de l'étude ?

Est-ce que vous avez deviné durant laquelle des deux sessions vous avez reçu la stimulation ?  
Si oui, qu'est-ce qui vous l'a fait comprendre ?

Merci beaucoup de votre participation et de nous avoir consacré de votre temps !

*Note : À la suite de ce débriefing, il était encore donné la possibilité de poser quelque question restante ainsi que celle d'en faire une remarque ou un commentaire si volonté.*

**Annexe 9.** Lien vers l'analyse de puissance réalisée à partir du logiciel RStudio (RStudio Team, 2020) par V. Didone sur base des données attendues fournies par l'étudiante.

<https://docs.google.com/document/d/19axVSZV9dctccpU3tAjuUcFkqYoN1plAEqh1L2sZKiM/edit?usp=sharing>

**Annexe 10.** Lien vers une copie du préenregistrement du projet sur OSF (Open-Science Framework).

[https://docs.google.com/document/d/1jZ9gM-FGGfIFB\\_4u7EFuL3SuZkH8FkaKbP1o76n7-U/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/document/d/1jZ9gM-FGGfIFB_4u7EFuL3SuZkH8FkaKbP1o76n7-U/edit?usp=sharing)

**Annexe 11.** Personne de contact pour obtenir le fichier complet de données (ou toute autre question concernant la recherche ou le mémoire).

E-mail : [marine.saint-mard@student.uliege.be](mailto:marine.saint-mard@student.uliege.be)

**Annexe 12.** Lien vers le document contenant les commentaires des participant·e·s.

<https://docs.google.com/document/d/141tnuuf9rkq9ZoDIIsaNukp4aMpoAp53avJeebYMKDo/edit?usp=sharing>

**Annexe 13.** Lien vers le document contenant le set complet d'analyses statistiques réalisées dans le cadre de la présente recherche.

<https://docs.google.com/document/d/1cbWeD0SZgj0yIzBiWr3PuJlKOWZybxKIBXrQVELpOw/edit?usp=sharing>

**Annexe 14.** Passionate Love Scale, version française.

1. Depuis que j'ai une liaison avec _____, mes émotions sont comme des montagnes russes.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
2. Je ressentirais un profond désespoir si _____ me quittait.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
3. Parfois, mon corps tremble d'excitation à la vue de _____.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
4. Je me délecte en étudiant les mouvements et les angles du corps de _____.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
5. Parfois, je sens que je ne peux pas contrôler mes pensées ; elles se portent de manière obsessionnelle sur _____.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
6. Je me sens heureux(se) lorsque je fais quelque chose pour rendre _____ heureux(se).*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
7. J'aimerais mieux être avec _____ qu'avec n'importe qui d'autre.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
8. Je deviendrais jaloux(se) si je pensais que _____ était en train de tomber amoureux de quelqu'un d'autre.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
9. Personne d'autre ne pourrait aimer _____ comme moi.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
10. J'ai envie de tout savoir sur _____.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
11. Je désire _____ physiquement, émotionnellement et intellectuellement.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
12. J'aimerai _____ pour toujours.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
13. Je fonds lorsque je regarde _____ profondément dans les yeux.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
14. J'ai un besoin infini d'affection de la part de _____.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
15. Pour moi, _____ est le (la) partenaire romantique parfait(e).*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
16. _____ est la personne qui peut me rendre le (la) plus heureux(se).	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
17. Je sens mon corps répondre lorsque _____ me touche.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
18. Je sens de la tendresse pour _____.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
19. _____ semble toujours être dans mes pensées.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
20. Si j'étais séparé(e) de _____ pendant longtemps, je me sentirais intensément seul(e).	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
21. Parfois, je trouve qu'il est difficile de me concentrer sur le travail parce que des pensées concernant _____ occupent mon esprit.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
22. Je veux que _____ me connaisse (mes pensées, mes peurs, et mes espoirs).*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
23. Je me sens complet sachant que _____ se soucie de moi.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
24. Je cherche avidement des signes indiquant le désir de _____ pour moi.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
25. Si _____ se retrouvait dans une période difficile, je mettrais de côté mes propres soucis pour l'aider à s'en sortir.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
26. _____ peut me faire me sentir effervescent(e) et débordant(e) de vitalité.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
27. En présence de _____, j'ai très envie de le (la) toucher et d'être touché(e) par lui (elle).	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
28. Une existence sans _____ serait sombre et lamentable.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
29. Je ressens une puissante attirance pour _____.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
30. Je suis extrêmement déprimé(e) lorsque les choses ne vont pas bien dans ma relation avec _____.*	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10