

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

INTERACTIONS ENTRE LE FONCTIONNEMENT COGNITIF ET LES
CONSÉQUENCES DE L'EXPOSITION AU TRAUMA : EXPLORATION DES
MÉCANISMES IMPLIQUÉS DANS LES SOUVENIRS INTRUSIFS

THÈSE PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE DU
DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL INTERVENTION/RECHERCHE)

PAR
LAURENCE CHOUINARD-GAOUETTE

OCTOBRE 2025

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

DOCTORAT CONTINUUM D'ÉTUDES EN PSYCHOLOGIE
(PROFIL INTERVENTION/RECHERCHE) (Ph. D.)

Direction de recherche :

Frédéric Langlois, Ph. D. directeur de recherche
Université du Québec à Trois-Rivières

Isabelle Blanchette, Ph. D. codirectrice de recherche
Université Laval

Jury d'évaluation :

Isabelle Blanchette, Ph. D. codirectrice de recherche
Université Laval

Benjamin Boller, Ph. D. président du jury
Université du Québec à Trois-Rivières

Benoît Brisson, Ph. D. évaluateur interne
Université du Québec à Trois-Rivières

Marie-France Marin, Ph. D. évaluatrice externe
Université du Québec à Montréal

Thèse soutenue le 19 septembre 2025

Ce document est rédigé sous la forme d'article(s) scientifique(s), tel qu'il est stipulé dans les règlements des études de cycles supérieurs (Article 360) de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Les articles ont été rédigés selon les normes de publication de revues reconnues et approuvées par le Comité de programmes de cycles supérieurs du département de psychologie. Le nom du directeur de recherche pourrait donc apparaître comme co-auteur de l'article soumis pour publication.

Sommaire

Les souvenirs intrusifs sont une conséquence fréquente de l'exposition à un événement potentiellement traumatique. La recherche montre des associations entre le fonctionnement cognitif et les souvenirs intrusifs. Les mécanismes qui sous-tendent les interactions entre la cognition et les réactions au trauma demeurent mal compris. L'objectif général de cette thèse est d'explorer les mécanismes sous-jacents aux interactions bidirectionnelles entre le fonctionnement cognitif et les conséquences de l'exposition au trauma. Deux grands axes d'hypothèses sont examinés : (1) des capacités cognitives préexistantes, comme le raisonnement et la mémoire de travail, influencent la fréquence des souvenirs intrusifs après un événement émotionnel; et (2) l'exposition à un tel événement affecte aussi certaines fonctions cognitives, comme le contrôle attentionnel et la mémoire de travail. Les études de cette thèse reposent sur une approche quasi expérimentale en neurosciences pour examiner les corrélats neurocognitifs des liens entre raisonnement, mémoire de travail, contrôle attentionnel et les souvenirs intrusifs. La méthodologie combine une mesure électroencéphalographique (EEG) au paradigme de trauma analogue qui consiste à présenter une vidéo émotionnellement négative à des participants en laboratoire. Les trois études sont publiées sous forme d'articles scientifiques dans des revues internationales. La première étude a permis de valider un court montage vidéo pour induire des réactions analogues à un événement potentiellement traumatique et une tâche de décision lexicale en tant que mesure de la mémoire implicite (Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2024a). La deuxième étude montre que les capacités de raisonnement influencent la manière dont le cerveau traite et encode l'information lors

d'un évènement émotionnel, laquelle est reliée à des souvenirs intrusifs plus fréquents dans les jours suivants (Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2024b). La troisième étude met en lumière l'impact d'un évènement émotionnel sur les mécanismes neurocognitifs de la mémoire de travail (Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2025). Les résultats apportent une meilleure compréhension des interactions entre le fonctionnement cognitif et les réponses comportementales et cérébrales à un évènement émotionnel. Cette thèse s'inscrit dans un champ de recherche innovant en neurosciences visant à identifier des marqueurs cérébraux potentiellement utiles pour le développement d'interventions ciblées pour les personnes affectées par le trauma.

Table des matières

Sommaire	iv
Liste des tableaux.....	xiii
Liste des figures	xiv
Remerciements.....	xvii
Introduction générale	1
Exposition au trauma, mémoire et intrusions.....	4
Les intrusions comme facteur central du TSPT?	7
Mémoire du trauma et intrusions	9
Fonctionnement de la mémoire.....	10
Mémoire et émotions	13
Mémoire et intrusions	15
Récupération en mémoire	16
Consolidation en mémoire	18
Encodage en mémoire.....	20
Synthèse des théories sur la mémoire et les intrusions	22
Fonctions cognitives associées au trauma et aux intrusions	24
Intelligence, raisonnement et exposition au trauma.....	25
Liens entre le raisonnement et les intrusions	27
Mécanismes sous-jacents au lien entre le raisonnement et les intrusions...29	
Limites des études antérieures	30
Contrôle attentionnel, exposition au trauma et intrusions	32

Mécanismes sous-jacents au lien entre le contrôle attentionnel et les intrusions.....	34
Limites des études antérieures	37
Mémoire de travail, exposition au trauma et intrusions.....	39
Mécanismes sous-jacents au lien entre la mémoire de travail et les intrusions.....	41
Limites des études antérieures	42
Synthèse des liens entre fonctions cognitives, trauma et intrusions	44
Approche méthodologique.....	46
Paradigme de trauma analogue	47
Mesures des processus implicites	49
Tâche de décision lexicale	49
Tâche de Stroop émotionnelle en images	50
Potentiels évoqués.....	51
Composante P1	52
Composante P300	53
Objectifs et hypothèses	55
Article scientifique 1 – Validation of a Trauma Film: Emotional Responses, Intrusive Memories and Concept Activations.....	59
Abstract	61
Introduction.....	62
Method	68
Participants.....	68
Procedure	70

Material.....	71
Post-Traumatic Check List (PCL-5).....	71
Trauma and Neutral Films.....	71
Affective State Scale.....	72
Five-Minute Intrusive Memories.....	73
Lexical Decision Task.....	73
Emotions Rating.....	74
Recognition Test.....	75
Intrusive Memories Diary.....	75
Follow-Up Questionnaire.....	76
Statistical Analysis.....	76
Preprocessing.....	76
Main Analyses.....	78
Results.....	79
Group Equivalence.....	79
Emotional Responses to Films.....	80
Intrusive Memories.....	82
Link Between Affective State and Intrusive Memories.....	85
Concept Activation in Memory.....	85
Concept Activation and Intrusive Memories.....	86
Discussion.....	87
References.....	94

Appendix.....	99
Article scientifique 2 – An Investigation of the Mechanisms Underlying the Link Between Abstract Reasoning and Intrusive Memories: A Trauma Analogue Study.....	101
Abstract.....	103
Introduction.....	104
Material and Methods	111
Participants.....	111
Materials	114
Posttraumatic Check List (PCL-5).....	114
Raven’s Advanced Progressive Matrices	115
WAIS Subtest Similarities.....	115
Baseline Video.....	116
Experimental Videos.....	116
Emotional State Scale	116
Recognition Test.....	116
Pictorial Stroop Task	117
Electroencephalography (EEG).....	119
Intrusive Memory Diary	120
Procedure	121
Statistical Analyses	122
Preprocessing.....	122
Between-Group Analyses	123
Main Analyses	124

Exploratory Analyses.....	125
Results.....	125
Group Equivalence.....	125
Between-Group Results	126
Emotional State and Intrusive Memories.....	126
Perceptual Processing	126
Attentional Bias	127
Correlations.....	129
Exploratory Analyses.....	130
Demographic Characteristics	130
Age Differences in Perceptual Processing.....	131
Gender Difference in Attentional Bias	133
Summary of Exploratory Findings	133
Discussion	134
References.....	140
Article scientifique 3 – Do Emotionally Negative Events Impair Working Memory as a Result of Intrusive Thoughts?	146
Abstract	148
Introduction.....	149
Method	155
Participants.....	155
Procedure and Materials	158
Post-Traumatic Check List (PCL-5).....	159

Online n-Back Task	160
Baseline Video	161
Experimental Videos.....	161
Emotional State Scale	162
Five-Minute Intrusive Thoughts	162
n-Back Task	162
Intrusions Subscale of the Impact of Event Scale-Revised (IES-R).....	163
Recognition Test	163
Electroencephalography (EEG)	164
Statistical Analysis.....	166
Preprocessing.....	166
Manipulation Check.....	167
Main Analyses	168
Exploratory Analyses.....	169
Results.....	170
Group Equivalence.....	170
Manipulation Check.....	170
Intrusive Thoughts	170
Emotional State.....	171
Between-Group Results	171
Working Memory Accuracy	171
Working Memory Reaction Times	172

P300 Amplitude	175
Correlational Results.....	177
Exploratory Analyses.....	178
Discussion	179
References.....	187
Discussion générale.....	195
Synthèse des résultats.....	196
Intégration des résultats	199
Rôle des processus de traitement perceptuel	199
Fonctionnement cognitif préexistant influence les réactions au trauma	203
Impacts cognitifs de l'exposition au trauma	205
Effets différenciés de la facilitation et de l'interférence sur les intrusions.....	211
Différences selon le genre.....	213
Forces et limites	215
Forces.....	215
Limites	217
Recommandations.....	220
Perspectives de recherche en neurosciences	221
Perspectives cliniques	224
Conclusion générale.....	231
Références générales.....	233

Liste des tableaux

Liste des tableaux dans l'Article 1 :

Tableau

1	Group Equivalence	80
2	Comparison of Mean Emotions Rating Between Group ($n = 39$).....	82
3	Descriptive Characteristics of Intrusive Memories Between Group.....	84

Liste des tableaux dans l'Article 2 :

Tableau

1	P1 Amplitude and Intrusive Memories (18-31 years old, $n = 46$).....	133
---	---	-----

Liste des tableaux dans l'Article 3 :

Tableau

1	Working Memory Performance by Group	173
---	---	-----

Liste des figures

Liste des figures dans la thèse

Figure

- 1 Schéma illustrant les hypothèses d'interactions entre les variables examinées dans les trois études (étude 1 en jaune, étude 2 en bleu, étude 3 en rouge) 56
- 2 Schéma résumant les principales corrélations entre les variables examinées dans les trois études (étude 1 en jaune, étude 2 en bleu, étude 3 en rouge) 198

Liste des figures dans l'Article 1 :

Figure

- 1 Average Affective State Reported by the Two Groups on the Three Measurement Times 81
- 2 Means of Reaction Times for the Four Categories of Words by Groups..... 86

Liste des figures dans l'Article 2 :

Figure

- 1 Correlations Used for Monte Carlo Power Analysis for Sample Size Calculation of a Two Parallel Mediators' Model..... 113
- 2 Left: Variation of ERP waveform and P1 amplitude during picture presentation according to emotional valence and relatedness to the negative or neutral video. Right: Means for P1 amplitude (100-140ms) in all four conditions for all participants (n = 114) 127
- 3 Means of Response Times for Negative and Neutral Pictures, Related and Unrelated to the Videos, by Groups 128
- 4 Correlations Between Variables in the Expected Model of Abstract Reasoning as a Predictor of Intrusive Memories Mediated by Perceptual Processing and Attentional Control..... 130
- 5 Summary of Exploratory Correlations Between Main Variables 134

Liste des figures dans l'Article 3 :

Figure

1	Correlations Used for Monte Carlo Power Analysis for Sample Size Calculation of a Mediation Model	157
2	Topography and Variation of the Grand Average ERP Waveforms for All Participants in Both WM Load Conditions (Electrodes Pz, P1, and P2 are in red)	166
3	Means of % Accuracy at Baseline and After Viewing According to WM Load (2-back and 3-back), by Groups.....	174
4	Means of Reaction Time (ms) at Baseline and After Viewing According to WM Load (2-back and 3-back), by Groups	175
5	Left: Topography for all participants and conditions. Middle: Variation of average ERP waveform on parietal position (Pz, P1, and P2) according to WM load and video groups. Right: Means for P300 amplitude (300-500 ms at Pz, P1 and P2) for the two WM load conditions and the two groups (negative video n = 74, neutral video n = 22)	176
6	Summary of Correlations Between Main Variables	178

A journey of a thousand miles begins with a single step.

Remerciements

Je tiens d'abord à exprimer mon immense gratitude envers ma directrice de recherche Isabelle. Merci de m'avoir donné l'opportunité de travailler sur cette recherche, mais aussi de m'impliquer en parallèle sur d'autres projets qui m'ont permis d'apprendre, de grandir et de me dépasser. Merci pour ton engagement sincère, ton authenticité, ta confiance et surtout, ton optimisme contagieux. Tes précieux conseils et tes encouragements constants à relever des défis ont été indispensables à mon développement en tant que chercheuse, mais aussi sur le plan personnel. Ce fut un véritable privilège de bénéficier de ton expertise pour réaliser ce travail. Enfin, par-dessus tout, merci d'avoir cru en moi.

Je tiens également à remercier mon co-directeur de recherche Frédéric Langlois et le professeur Benjamin Boller pour leurs commentaires constructifs et bienveillants lors de mes séminaires évolutifs. Votre soutien m'a permis de développer la confiance en moi nécessaire à l'accomplissement de cette thèse, mais aussi à d'autres implications.

Il m'est aussi important de souligner l'apport de nombreux collègues étudiants, professeurs et superviseurs en clinique de l'université et de mes milieux de stage. Merci au professeur Johannes Frasnelli qui m'a initiée à l'enseignement avec confiance et enthousiasme. Merci à mes superviseuses de stage en neuropsychologie Laurie, Jasmine, Renée-Anne, Marylène et Geneviève qui m'ont généreusement transmis leur expertise et leur passion de la profession. Merci aux collègues du laboratoire Cogité Yannick, Marie-Ève, Alice, Chantale, Justine, Colombe, Anna, Mathilde et tous les autres qui m'ont

inspirée par leur excellence. Merci pour les conseils judicieux sur mon parcours académique, pour les joyeux 5 à 7 et pour les relectures de mes écrits. Merci également à Marie-Oriane Kone et Suchen Yao pour leur précieuse aide avec la collecte de données.

Je remercie les Fonds de recherche du Québec dont le soutien financier (<https://doi.org/10.69777/336907>) a joué un rôle important dans l'avancement de mes travaux de recherche et pour les opportunités de formation à l'internationale.

Merci aux nombreux amis qui, de près ou de loin, ont suivi mon évolution lors de cette grande aventure doctorale. Vous avez toujours été au rendez-vous pour célébrer chaque petite réussite et m'encourager à me dépasser face à l'adversité. Un clin d'œil spécial à mon amie Josiane qui un jour m'a proposé de prendre un cours de psychologie à l'université, juste question de passer le temps. Un autre clin d'œil à mon amie Marlyne, qui connaît tous les revers de mon parcours non-linéaire depuis l'école primaire. Enfin, un autre merci spécial à Valérie qui m'a formée à l'électroencéphalographie et qui est devenue une amie précieuse dont le soutien moral et le sens de l'humour sont indispensables à mon quotidien. Du fond du cœur, merci les amis.

Il m'est aussi important de remercier ma famille, et plus particulièrement mon père et mes frères. Je vous suis profondément reconnaissante d'avoir toujours soutenu mes choix de vie avec confiance. Votre présence et vos encouragements ont joué un rôle essentiel dans mon parcours et je vous en suis infiniment reconnaissante. Un merci tout particulier

à mon père de m'avoir transmis sa grande curiosité intellectuelle, sa rigueur et sa perspicacité. Merci papa pour tout ce que tu m'as appris.

Enfin, je souhaite terminer ces remerciements en rendant hommage à ma mère, dont je pense avoir hérité la résilience, la détermination et le courage nécessaires pour tracer mon chemin dans la vie. J'ai le souvenir d'une femme forte, passionnée et engagée qui s'impliquait avec un dévouement sincère dans tout ce qu'elle entreprenait. Merci maman pour ton amour inconditionnel. J'aurais aimé que tu sois là pour voir ça.

Introduction générale

Un soir, une pluie abondante tombait sur le pare-brise. Dans un virage serré, les phares aveuglants d'une voiture qui a surgi de nulle part. La violence de l'impact contre un arbre. Le bruit du métal fracassé, du verre éclaté et dans le long silence qui a suivi, le cri d'un enfant déchirant la nuit. Cet extrait est un exemple d'évènements de vie potentiellement traumatiques. Il est estimé qu'environ sept personnes sur dix vivent au moins une situation de cette nature au courant de leur vie (Benjet et al., 2016; Kessler et al., 2018). Ces évènements peuvent laisser une empreinte profonde et distinctive dans la mémoire (Durand et al., 2019; Kensinger, 2009; Quaedflieg & Schwabe, 2018). Ils sont susceptibles d'entraîner des conséquences psychologiques durables, notamment des souvenirs intrusifs, désignés plus succinctement « intrusions », qui peuvent persister dans le temps et nuire au fonctionnement quotidien (American Psychiatric Association [APA], 2013). Les intrusions occupent une place centrale dans le trouble de stress post-traumatiques (TSPT) qui touchent une minorité (environ 6 %) des personnes exposées à un évènement potentiellement traumatique (Koenen et al., 2017). Les raisons pour lesquelles certaines personnes développent un TSPT et d'autres non demeurent mal comprises. Par conséquent, la recherche doit se concentrer sur l'identification des facteurs avant, pendant et après l'évènement, qui expliquent à la fois le développement des symptômes du trouble et l'évolution favorable non-pathologique. Parmi ces facteurs se trouve notamment le fonctionnement cognitif (p. ex., DiGangi et al., 2013; Georgescu & Nedelcea, 2024; Scott

et al., 2015). Toutefois, les mécanismes par lesquels le fonctionnement cognitif est lié aux conséquences du trauma sont encore inconnus.

L'objectif général de cette thèse est d'explorer les mécanismes sous-jacents aux interactions entre le fonctionnement cognitif et les réactions au trauma. Ce travail va plus loin que la simple observation des relations entre émotion et cognition. Il examine comment des facteurs cognitifs préexistants (capacités de raisonnement, de mémoire de travail), pendant l'évènement (processus de traitement perceptuel) et après l'évènement (contrôle attentionnel, mémoire de travail, mémoire implicite) peuvent être liés aux intrusions. Ces mesures avant et après l'exposition à un contenu émotionnel permettent d'étudier la dynamique temporelle des relations entre ces variables. Une mesure électroencéphalographique fournit des indications sur les mécanismes cérébraux sous-jacents par lesquels ces liens s'opèrent.

L'introduction générale de cette thèse est divisée en trois parties. La première partie présente les fondements conceptuels et empiriques sur le trauma, la mémoire et les intrusions. La deuxième partie documente les relations entre le fonctionnement cognitif et les intrusions en mettant en lumière certaines lacunes des études antérieures qui peuvent être comblées par la recherche en neurosciences. La troisième partie présente les méthodes employées dans cette thèse. Enfin, une synthèse des recherches sur l'exposition au trauma et la cognition mène aux objectifs et hypothèses spécifiques qui sont examinés dans les trois études.

Exposition au trauma, mémoire et intrusions

Environ 70 % de la population générale est exposé à au moins un évènement potentiellement traumatique au courant de sa vie (Benjet et al., 2016; Kessler et al., 2018; Kilpatrick et al., 2013). Un évènement potentiellement traumatique est défini par le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux (DSM-5-TR) comme une situation impliquant la mort ou une menace de mort, des blessures graves ou des violences sexuelles (Critère A du TSPT; APA, 2022). La personne peut en être la victime directe ou en être témoin, soit de manière directe ou indirecte, par exemple en apprenant qu'un tel évènement est arrivé à un proche ou en étant exposée de façon répétée ou extrême à des détails aversifs d'un évènement (APA, 2022). Un évènement potentiellement traumatique suscite des émotions intenses de peur, d'horreur et d'impuissance qui surpassent largement les émotions de la vie quotidienne (Ehlers et al., 2004). Un évènement est qualifié de « potentiellement » traumatique en ce sens qu'il a le potentiel d'occasionner un traumatisme. Le traumatisme réfère ainsi à la réaction psychologique individuelle d'une personne à ce type d'évènements (p. ex., North et al., 2016). Néanmoins, par souci de concision le terme « exposition au trauma » est utilisé en référence à l'exposition à un évènement potentiellement traumatique, comme dans la littérature sur le sujet (p. ex., Blanchette & Giroux, 2021; North et al., 2016).

Le trouble de stress post-traumatique (TSPT) est un diagnostic psychologique qui peut survenir suivant l'exposition à un évènement potentiellement traumatique (Critère A; APA, 2022). Il se manifeste par la présence durant au moins un mois de quatre groupes

de symptômes : (1) intrusions; (2) évitement; (3) altérations négatives de la cognition et de l'humeur; et (4) modifications de l'éveil et de la réactivité (APA, 2022). Les intrusions (ou flashbacks) sont des réminiscences involontaires, indésirables et persistantes de l'évènement (Critère B; APA, 2022). Les symptômes d'évitement comprennent le fait d'éviter les souvenirs, les pensées ou les sentiments, de même que les personnes, les lieux ou les activités susceptibles de rappeler l'évènement (Critère C; APA, 2022). Les altérations négatives de la cognition et de l'humeur concernent les croyances, les attentes ou les idées déformées et négatives à propos de soi, des autres ou de l'évènement. Elles incluent également une diminution de l'intérêt, un état émotionnel négatif persistant, un sentiment de détachement des autres et des difficultés à éprouver des émotions positives (Critère D; APA, 2022). Les modifications de l'éveil et de la réactivité incluent les troubles du sommeil, l'irritabilité, la colère, l'hypervigilance, l'hyperréactivité, les comportements imprudents ou autodestructeurs ainsi que les difficultés de concentration (Critère E; APA, 2022). Dans le TSPT, ces symptômes sont suffisamment graves pour altérer le fonctionnement social, professionnel et/ou interpersonnel (APA, 2022).

La prévalence du TSPT est estimée à 3,9 % dans la population générale et à 5,6 % parmi les individus exposés au trauma (Koenen et al., 2017). Ce taux varie considérablement selon la population étudiée, le type de trauma et le nombre de traumas vécus (Kessler et al., 2018; Schein et al., 2021). Les symptômes du TSPT, et plus particulièrement les intrusions, sont néanmoins présents chez la majorité des gens dans les jours et les semaines qui suivent l'exposition au trauma, suggérant une réaction

« normale » universelle (McFarlane, 2000; Yehuda & LeDoux, 2007). Même chez les personnes répondant aux critères du TSPT après un mois, la trajectoire la plus fréquente est une rémission, avec une réduction significative des symptômes à l'intérieur de trois mois (Galatzer-Levy et al., 2018; Kessler et al., 2018; Steinert et al., 2015). Ainsi, le TSPT peut être considéré comme le résultat d'un dysfonctionnement dans le processus normal d'adaptation post-trauma menant à une persistance des symptômes (Yehuda & LeDoux, 2007). Les raisons pour lesquelles certaines personnes développent un TSPT et d'autres ne le développent pas sont encore mal comprises.

Les principaux facteurs de risque connus pour le développement du TSPT incluent un jeune âge, être une femme, un faible niveau d'éducation, un faible statut socioéconomique, une exposition cumulée à plusieurs traumas et les comorbidités psychiatriques (Georgescu & Nedelca, 2024; Koenen et al., 2017; Tortella-Feliu et al., 2019). Une méta-analyse récente identifie le fonctionnement cognitif antérieur comme le deuxième facteur de risque en importance, après les comorbidités psychiatriques (Georgescu & Nedelca, 2024). Une revue systématique d'études longitudinales sur le TSPT a montré que les 10 études ayant examiné les capacités cognitives avant le trauma ont toutes conclu que des capacités cognitives plus faibles avant le trauma constituaient un facteur de risque pour le développement du TSPT (DiGangi et al., 2013). Les relations entre le fonctionnement cognitif et les symptômes du TSPT sont approfondies dans la deuxième section de cette introduction. Cette thèse s'inscrit dans la recherche sur le TSPT

en explorant les mécanismes contribuant à sa symptomatologie, et plus spécifiquement de son principal symptôme : les intrusions.

Les intrusions comme facteur central du TSPT?

Les intrusions dans le TSPT sont de brefs souvenirs involontaires à forte teneur sensorielle-perceptuelle qui apparaissent à la conscience principalement sous forme d'images, mais peuvent également se manifester par des sons, des odeurs ou des sensations physiques (Ehlers et al., 2004; Marks et al., 2018). En lien avec l'exemple présenté en introduction, les intrusions pourraient représenter les phares aveuglants d'une voiture avant l'accident ou le bruit du métal fracassé pendant l'accident ou encore le cri d'un enfant immédiatement après. Les intrusions ont tendance à raviver les réactions émotionnelles éprouvées lors de l'évènement (Ehlers et al., 2002, 2004; Iyadurai et al., 2019). Elles sont vécues comme si l'évènement se reproduisait dans le moment présent (Brewin et al., 2010; Ehlers & Clark, 2000). Ces différentes caractéristiques des intrusions (nature sensorielle-perceptuelle, réactivant les réactions émotionnelles initiales, impression de moment présent) sont davantage prédictives de la persistance du TSPT que la sévérité globale des symptômes initiaux (Hackmann et al., 2004; Kleim et al., 2007; Michael et al., 2005a). Les intrusions apparaissent donc comme un élément clé de la symptomatologie post-traumatique.

Les intrusions auraient tendance à alimenter les autres groupes de symptômes du TSPT : évitement, altérations négatives de la cognition et de l'humeur, et modifications

de l'éveil et de la réactivité (Brewin & Holmes, 2003; Bryant et al., 2017; Ehlers & Clark, 2000; Iyadurai et al., 2019; Phelps et al., 2018). Pour éviter les intrusions, la personne cherche à éviter les souvenirs, les pensées ou les sentiments, de même que les personnes, les lieux ou les activités susceptibles de les déclencher (symptômes d'évitement; APA, 2022; Bryant et al., 2017; Haag et al., 2017). Par exemple, éviter de prendre la route à la noirceur ou sous la pluie. La présence d'intrusions tend à renforcer les idées déformées et négatives à propos de soi, des autres ou de l'évènement et entraîner un état émotionnel négatif persistant, un sentiment de détachement des autres et des difficultés à éprouver des émotions positives (altérations négatives de la cognition et de l'humeur; APA, 2022; Bryant et al., 2017; Haag et al., 2017). Par exemple, culpabiliser d'avoir eu un accident, ne plus éprouver de plaisir à conduire ou croire que la route est constamment dangereuse. Enfin, les intrusions peuvent contribuer à maintenir la personne dans un état d'alerte constant qui peut occasionner des troubles du sommeil, de l'irritabilité, de la colère, de l'hypervigilance, de l'hyperréactivité et des difficultés de concentration (modifications de l'éveil et de la réactivité; APA, 2022; Bryant et al., 2017; Haag et al., 2017). Par exemple, sursauter en entendant des cris d'enfants dans un parc ou être sur ses gardes en présence de voitures. En résumé, les intrusions semblent être le point de départ d'un enchaînement de réactions qui entretiennent les autres groupes symptômes post-traumatiques.

Les intrusions se manifestent également dans d'autres conditions psychologiques telles que la dépression, l'anxiété, la phobie et le trouble obsessionnel-compulsif, où elles prennent la forme de pensées ou d'images envahissantes non désirées au sujet des

préoccupations (Brewin et al., 2010; Iyadurai et al., 2019; Marks et al., 2018; Payne et al., 2019). Il est cependant important de noter que les intrusions sont un phénomène normal, pouvant être conceptualisées sur un continuum allant des souvenirs involontaires de la vie de tous les jours aux intrusions envahissantes et perturbantes observées dans les troubles psychologiques comme le TSPT (Berntsen & Rubin, 2008). Les intrusions sont donc communes et leur présence n'est pas nécessairement pathologique en soi (Iyadurai et al., 2019; Marks et al., 2018). Les taux de prévalence dans la population générale indiquent que 23 à 73 % des personnes rapportent expérimenter des intrusions au moins une fois par semaine (Payne et al., 2019). Néanmoins, leur fréquence et leur persistance peuvent altérer le fonctionnement au quotidien, que ce soit dans un trouble psychologique ou non. Ainsi, une meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents et des facteurs individuels contribuant au développement des intrusions apparaît particulièrement intéressante d'un point de vue clinique. Selon les principaux modèles théoriques, les intrusions surviennent en raison de la manière distinctive dont un événement potentiellement traumatique est mémorisé (modèle de la double représentation en mémoire, Brewin et al., 2010, 2025; modèle cognitif du TSPT, Ehlers & Clark, 2000; modèle mnésique du TSPT, Rubin et al., 2008).

Mémoire du trauma et intrusions

Un fonctionnement distinctif de la mémoire est une caractéristique centrale dans de nombreuses théories expliquant le phénomène des intrusions (Brewin, 2014; Brewin et al., 2010, 2025, Ehlers & Clark, 2000; Elzinga & Bremner, 2002; Rubin et al., 2008).

Cette section décrit le fonctionnement de la mémoire, comment elle est influencée par les émotions et de quelle façon les intrusions se distinguent des autres souvenirs d'évènements.

Fonctionnement de la mémoire

La mémoire est la capacité cognitive qui permet d'enregistrer, de conserver et de récupérer des informations (Guskjolen & Cembrowski, 2023; Tulving, 1993, 2002). Pour ce faire, trois processus sont en jeu : l'encodage, la consolidation et la récupération (Tulving, 2002). L'encodage transforme l'information perçue par les sens en une représentation mentale conservable en mémoire. Il est influencé par les mécanismes d'attention et de mémoire de travail (répétition, élaboration et association avec d'autres informations). La consolidation est le processus par lequel les informations encodées sont intégrées de manière durable dans la mémoire. L'information mémorisée est malléable pendant plusieurs heures après l'encodage, c'est-à-dire qu'elle est susceptible d'être modifiée avant d'être consolidée plus durablement (Nader et al., 2000). La récupération est la capacité à accéder ultérieurement à ces informations. Elle dépend en partie de la qualité des processus d'encodage et de consolidation. L'information mémorisée redevient malléable lors de sa récupération, un processus nommé reconsolidation par lequel un souvenir déjà consolidé devient temporairement instable lorsqu'il est réactivé (Nader et al., 2000; Schwabe et al., 2014). Ainsi, la mémoire repose sur des processus dynamiques, dans lesquels les souvenirs se construisent en fonction de la manière dont l'information est encodée, consolidée, récupérée et reconsolidée.

Deux types de mémoire sont distingués : explicite et implicite (Rubin, 2022; Schacter, 2025; Squire, 2004; Squire & Dede, 2015). La mémoire explicite (ou déclarative) rassemble les souvenirs conscients qui peuvent être récupérés volontairement et décrits verbalement (Squire & Dede, 2015). Cela inclut les souvenirs épisodiques, sémantiques et autobiographiques. La mémoire épisodique contient les souvenirs d'évènements personnellement vécus (p. ex., une fête d'anniversaire, le premier jour d'école, le repas de la veille). La mémoire sémantique regroupe les connaissances acquises indépendamment du contexte personnel dans lequel elles ont été apprises (p. ex., le sens des mots, les faits historiques, la fonction des objets). La mémoire autobiographique rassemble les souvenirs d'évènements spécifiques vécus (épisodique) et les connaissances générales sur sa propre identité (sémantique) accumulés au courant de la vie (Conway & Pleydell-Pearce, 2000). En résumé, la mémoire explicite concerne les souvenirs conscients des faits et des évènements pouvant être rappelés volontairement.

La mémoire implicite fonctionne de manière automatique, c'est-à-dire indépendamment de la volonté et de la conscience (Damis, 2022; Schacter, 2025). Elle réfère au fait que le comportement, les pensées et les émotions peuvent être influencés par une expérience passée, sans en avoir un souvenir conscient ou une intention volontaire (Squire, 2004). La mémoire implicite est à l'origine des apprentissages procéduraux (p. ex., faire du vélo), des apprentissages associatifs conditionnés (p. ex., saliver en entendant un son associé à de la nourriture) et des effets d'amorçage (p. ex., lire un mot plus rapidement parce qu'il réfère à une expérience récente). La mémoire implicite est

plus résistante à l'oubli que la mémoire explicite. Par exemple, il est moins probable d'oublier comment faire du vélo (mémoire implicite procédurale) que d'oublier sa première sortie à vélo (mémoire explicite autobiographique). En laboratoire, la mémoire implicite peut être mesurée par des tâches montrant des changements dans la performance sans intention consciente des participants, mais qui peuvent être attribués à des informations acquises précédemment. Par exemple, des participants exposés à des mots auront ensuite tendance à réutiliser ces mots dans une tâche de complétion de mots (p. ex., « cha... ») même sans souvenir explicite de ces mots (p. ex., Rowe et al., 2023). En résumé, avec la mémoire explicite, la personne sait qu'elle possède une information en mémoire, alors qu'avec la mémoire implicite la personne montre qu'elle a appris une information par son comportement, ses réactions ou sa performance.

En somme, la mémoire repose sur différents processus, explicites et implicites, et la formation des souvenirs résulte d'une construction dynamique de l'information dans ces divers processus (Quaedflieg & Schwabe, 2018; Rubin et al., 2008). Les souvenirs d'un événement passé ne sont pas une reproduction exacte de l'expérience initiale : certaines informations sont oubliées, alors que d'autres sont modulées par l'état d'esprit au moment de l'encodage, mais aussi lors du rappel, ainsi que par les autres expériences vécues entre-temps (Kensinger, 2009). La mémoire est donc vulnérable à diverses influences. L'une de ces influences est les émotions.

Mémoire et émotions

De manière générale, les souvenirs d'évènements émotionnels sont plus vifs et persistants que les souvenirs d'évènements neutres (Durand et al., 2019; Kensinger, 2009; Quaedflieg & Schwabe, 2018). Cet effet est de plus grande ampleur pour les évènements ayant une valence négative plutôt que positive (Arntz et al., 2005; Phelps, 2004). Les souvenirs de situations menaçantes pour la vie ou l'intégrité physique sont encore plus durables, ce qui est adaptatif sur le plan évolutif, puisque ces souvenirs jouent un rôle essentiel pour la survie (Durand et al., 2019; Marks et al., 2018; McGaugh, 2015; Quaedflieg & Schwabe, 2018). Ce phénomène est lié aux importantes interrelations entre l'amygdale et l'hippocampe (McGaugh, 2004, 2015; Phelps, 2004). L'activation de l'amygdale en réponse au stress et à la peur module l'encodage et la consolidation en mémoire : plus l'amygdale est activée, plus le souvenir est renforcé (Phelps, 2004; Richardson et al., 2004). Par exemple, une étude en neuroimagerie a montré que, lors de l'encodage d'informations émotionnelles, l'activité de l'amygdale est corrélée à celle de l'hippocampe et que l'ampleur de cette corrélation est liée à la performance de rappel de ces informations émotionnelles (Kensinger & Corkin, 2004). En somme, un évènement émotionnel est mieux mémorisé non pas grâce aux mêmes mécanismes que ceux impliqués dans la mémorisation d'évènements ordinaires (comme une élaboration approfondie ou la répétition), mais parce qu'il active des processus spécifiques qui ne sont engagés qu'en présence d'une réaction émotionnelle (Kensinger, 2009).

Les réactions émotionnelles n'influencent pas seulement la mémoire au moment de l'encodage, mais aussi pendant la récupération d'un souvenir (Quaedflieg & Schwabe, 2018). Par exemple, dans une étude, des participants ont d'abord été exposés à des scènes neutres et négatives (Marin et al., 2010). Deux jours plus tard, leur mémoire de ces scènes a été évaluée, puis la moitié d'entre eux ont été soumis à une condition de stress, tandis que l'autre moitié était dans une condition neutre. Leur mémoire des scènes a ensuite été réévaluée immédiatement après cette manipulation, puis de nouveau cinq jours plus tard. Les résultats ont montré que le stress renforçait le rappel des scènes négatives jusqu'à cinq jours plus tard, sans effet sur les scènes neutres (Marin et al., 2010). Ainsi, les réactions émotionnelles renforcent les souvenirs des événements négatifs, pas uniquement à l'encodage initial, mais aussi possiblement chaque fois qu'ils sont rappelés.

Les réactions émotionnelles ne se limitent pas à renforcer les souvenirs explicites des événements marquants, elles jouent également un rôle dans la mémoire implicite. Ce phénomène est bien illustré par le cas d'un homme ayant développé un TSPT après avoir été enseveli dans le sable lors d'un accident, malgré l'absence de souvenir explicite de cet événement en raison d'une amnésie provoquée par l'anoxie (Krikorian & Layton, 1998). Bien que n'ayant aucun souvenir explicite de l'événement, il présentait des symptômes post-traumatiques typiques incluant des cauchemars et des intrusions prenant la forme de thèmes précis comme être subitement englouti sous terre (Krikorian & Layton, 1998). Ce cas montre comment les réactions émotionnelles intenses peuvent s'imprégner dans la

mémoire implicite et influencer les comportements même en l'absence de souvenir explicite de l'origine de ces réactions.

L'effet des émotions sur la mémoire implicite est également démontré en laboratoire. Par exemple, une étude de neuroimagerie a révélé que des images émotionnellement négatives provoquaient des activations dans les régions frontales et occipito-temporales du cerveau 24 heures après l'exposition initiale, même sans souvenirs explicites de ces images (Kark et al., 2020). Cet effet était observé pour des images négatives, mais pas pour des images neutres, ce qui indique une trace mnésique implicite modulée par la valence émotionnelle (Kark et al., 2020). Ainsi, même en l'absence de souvenir conscient, les informations émotionnelles peuvent laisser une empreinte dans la mémoire. Selon les principaux modèles théoriques, les intrusions résulteraient de processus à la fois explicites et implicites et seraient encodées, consolidées et récupérées de manière distincte des autres souvenirs.

Mémoire et intrusions

Cette section examine les théories expliquant le phénomène des intrusions à travers les différents processus mnésiques évoqués précédemment. Au lieu de suivre l'ordre chronologique des processus mnésiques en allant de l'encodage à la consolidation puis à la récupération, la présentation suit une progression inverse. Les intrusions sont d'abord décrites sous l'angle de la récupération en mémoire, avant d'examiner les mécanismes de consolidation susceptibles d'y contribuer, puis de présenter l'idée selon laquelle certaines

modalités d'encodage pourraient en être à l'origine. Cet ordre de présentation permet de débiter par le phénomène lui-même c'est-à-dire la récupération involontaire (d'intrusions), pour ensuite remonter vers les processus susceptibles de l'expliquer.

Récupération en mémoire

Sur le plan de la récupération en mémoire, les intrusions sont des réactivations involontaires, en ce sens que leur apparition dans la conscience est spontanée. Il ne s'agit donc pas d'un processus de récupération explicite à proprement parler (Berntsen & Rubin, 2008; Brewin et al., 2010). Par ailleurs, contrairement aux souvenirs volontaires dans lesquels les personnes peuvent se rappeler les émotions ressenties lors d'un évènement, mais sans en revivre l'intensité, les intrusions tendent à réactiver l'intensité émotionnelle d'origine (Ehlers & Clark, 2000; Rubin et al., 2008, 2011). Une question clé est de savoir comment ces intrusions sont déclenchées si elles ne sont pas délibérément récupérées. Une possibilité est liée aux mécanismes de mémoire associative.

Il est important de souligner que tous les souvenirs d'un évènement traumatique ne se transforment pas en intrusions. Celles-ci prennent généralement la forme de brèves scènes très spécifiques plutôt que d'un souvenir global de l'évènement (Grey & Holmes, 2008). Les intrusions consistent souvent en des stimuli présents juste avant le moment ayant eu le plus grand impact émotionnel, par exemple les phares d'une voiture précédant un accident (Ehlers & Clark, 2000). Par association temporelle avec le trauma, ces stimuli auraient acquis une fonction de signal d'alerte annonçant la possibilité d'un danger

imminent (Ehlers et al., 2002, 2004, 2006). À la base, ce type d'apprentissage associatif est adaptatif, puisque ces souvenirs sont essentiels pour la survie (Durand et al., 2019; McGaugh, 2015; Quaedflieg & Schwabe, 2018). Ils permettent à l'organisme de prévoir ce qui est susceptible de se produire dans le futur et d'y réagir. Par exemple, il est adapté de faire preuve de vigilance et de se déplacer hors de la route à l'approche des phares d'une voiture. Cependant, les intrusions sont fréquemment déclenchées par des stimuli présentant une similarité perceptuelle avec ceux qui ont immédiatement précédé ce signal d'alerte ou avec ce signal lui-même (Ehlers et al., 2004, 2006; Michael et al., 2005b; Michael & Ehlers, 2007). Par exemple, la vue d'une lumière vive peut déclencher le rappel des phares d'une voiture ou de l'accident lui-même. En ce sens, il devient moins adapté de réagir avec vigilance à chaque lumière vive rencontrée au quotidien. Le TSPT serait ainsi caractérisé par une détection accrue des stimuli de l'environnement similaires à ceux associés au trauma (Ehlers et al., 2006; Kube et al., 2020). Par exemple, des participants présentant un trouble de stress aigu ou un TSPT, mais pas ceux sans ces troubles, identifient mieux des images liées au trauma que des images neutres ou négatives non-relées (Kleim et al., 2012). L'avantage relatif de traitement pour les images liées au trauma était associé aux symptômes d'intrusions et prédisait le TSPT lors du suivi (Kleim et al., 2012). Ainsi, les intrusions résulteraient (du moins en partie) de cet amorçage perceptuel, dans lequel un stimulus *a priori* neutre, mais similaire à des stimuli présents durant le trauma provoque un rappel involontaire du trauma (Ehlers et al., 2002, 2006, Michael et al., 2005b). Il est supposé que ce mécanisme associatif persiste en raison de la manière distinctive dont l'évènement est consolidé en mémoire.

Consolidation en mémoire

Les modèles théoriques expliquent la persistance des intrusions par l'idée que l'information perceptuelle n'est pas suffisamment contextualisée et intégrée à la mémoire autobiographique (Brewin, 2014; Brewin et al., 2010; Ehlers & Clark, 2000; Liberzon & Abelson, 2016). Autrement dit, les réactivations involontaires du trauma viendraient du fait que celles-ci sont consolidées dans un système mnésique distinct, plutôt que d'être intégré normalement dans la mémoire épisodique (Brewin, 2014). La mémoire épisodique est une mémoire contextualisée, c'est-à-dire intégrée dans un cadre narratif ayant une chronologie spatio-temporelle (Elzinga & Bremner, 2002; Liberzon & Abelson, 2016). Un souvenir épisodique est donc ancré dans le passé en étant lié à un contexte précis : lieu, moment, signification, causes et conséquences (Liberzon & Abelson, 2016). La contextualisation de la mémoire épisodique dépend des régions préfrontales et temporales médianes, notamment l'hippocampe (Camina & Güell, 2017; Elzinga & Bremner, 2002). En revanche, le système de mémoire perceptuel dépendrait principalement de structures sous-corticales et de régions cérébrales impliquées dans la perception (occipito-temporales postérieures), plutôt que dans le contrôle cognitif (régions préfrontales) et la mémoire épisodique (régions temporales et hippocampiques; Brewin et al., 2010; Conway, 2001). Sans l'implication du cortex préfrontal et des régions hippocampiques, la mémoire manque de contextualisation et les fragments de souvenir sont perçus comme si l'évènement se produisait dans le présent (Brewin, 2014; Brewin et al., 2010; Liberzon & Adelson, 2016). Ainsi, il est globalement proposé que le TSPT est caractérisé par des

traces mnésiques perceptuelles fragmentées insuffisamment intégrées dans leur cadre narratif contextuel de l'évènement.

L'idée que les intrusions puissent être représentées dans un système de mémoire perceptuelle distinct des autres souvenirs contextualisés du trauma a certains appuis empiriques (p. ex., Kobelt et al., 2024; Whalley et al., 2013). Des études de neuroimagerie ont montré que les intrusions étaient associées à des activations dans les régions du traitement visuel, tant chez des participants non-cliniques exposés à des films émotionnels (Clark et al., 2016; Gvozdanovic et al., 2017; Kobelt et al., 2024) que chez des personnes atteintes de TSPT (Whalley et al., 2013). Notamment, une étude a comparé les activations cérébrales des intrusions aux autres souvenirs épisodiques du même évènement chez des participants atteints de TSPT et des participants exposés au trauma sans TSPT (Whalley et al., 2013). Les participants atteints de TSPT présentaient des activations accrues dans les régions perceptuelles (cortex occipital moyen notamment) et des activations diminuées dans les régions impliquées dans la contextualisation (région parahippocampique, cortex temporal médial et inférieur) qui étaient spécifiques aux intrusions comparées aux souvenirs épisodiques (Whalley et al., 2013). Les intrusions seraient donc le reflet d'une mémoire perceptuelle qui se réactive indépendamment du système mnésique hippocampique qui fournit les informations contextuelles (lieu, moment, signification) liées aux souvenirs (Maren et al., 2013; Miller et al., 2017). Pour saisir l'origine de cette consolidation distinctive des souvenirs du trauma, il faut reculer encore d'une étape dans

les processus mnésiques pour examiner ce qui se passe au moment de l'encodage en mémoire de l'évènement.

Encodage en mémoire

La nature d'un souvenir dépend des processus de traitement de l'information impliqués lors de l'encodage en mémoire de l'évènement. Le niveau de traitement conceptuel et perceptuel est un important déterminant de l'encodage en mémoire (Ehlers & Clark, 2000; Roediger, 1990; Roediger et al., 2002). Le traitement conceptuel réfère à un traitement chronologique et contextuel de l'information, permettant de donner du sens à l'évènement et de l'organiser de manière cohérente en mémoire (Roediger et al., 2002). Il s'agit d'un traitement de type descendant (*top-down*), basé sur des connaissances antérieures qui permet d'interpréter la situation en l'intégrant dans un cadre plus large. En revanche, le traitement perceptuel est un processus de type ascendant (*bottom-up*) axé sur les caractéristiques perceptuelles et les impressions sensorielles d'une situation, sans élaboration ou contextualisation plus large (Roediger et al., 2002). Un traitement plus perceptuel conduit à une désorganisation de la mémoire, le souvenir est décomposé en fragments à forte teneur perceptuelle (Ehlers et al., 2004, 2006; Michael et al., 2005b). Il est donc suggéré qu'un mode de traitement de l'information plus perceptuel au moment de l'encodage en mémoire d'un évènement rend plus susceptibles aux intrusions.

Des études prospectives appuient cette idée en montrant qu'un mode de traitement de l'information plus perceptuel, tel que rapporté dans un questionnaire tôt après un trauma,

est lié au développement du TSPT (Beierl et al., 2020; Ehlers et al., 2003; Halligan et al., 2003; Murray et al., 2002). Par exemple, un style de traitement davantage centré sur les aspects sensoriels dans les moments qui ont suivi un trauma prédisait le TSPT six mois plus tard (Beierl et al., 2020). Par ailleurs, l'association entre un style de traitement plus perceptuel et les symptômes du TSPT était médiée par la nature fragmentée des souvenirs du trauma (Beierl et al., 2020). Ainsi, un traitement axé sur les aspects perceptuels tend à générer des souvenirs moins contextualisés et plus fragmentés, ce qui rend les individus plus susceptibles de développer un TSPT.

Des études expérimentales suggèrent que le traitement perceptuel pourrait être associé plus spécifiquement aux symptômes d'intrusions plutôt qu'au TSPT de manière générale (Halligan et al., 2002; Kindt et al., 2008; Laposa & Rector, 2012; Sündermann et al., 2013). Dans une étude comparant l'effet du traitement perceptuel et du traitement conceptuel après un film émotionnel, les participants qui devaient se focaliser sur les détails sensoriels après le visionnement ont rapporté plus d'intrusions que ceux qui devaient se concentrer à analyser le sens du film (Kindt et al., 2008). Une autre étude manipulant le traitement perceptuel et conceptuel pendant le visionnement n'a cependant trouvé aucune différence significative dans la fréquence des intrusions rapportées après le film (Halligan et al., 2002). Néanmoins, dans cette étude, une tendance individuelle à un traitement plus perceptuel, mesuré par un questionnaire indépendamment des conditions expérimentales, était corrélée à davantage de détresse associée aux intrusions (Halligan et

al., 2002). Ces résultats suggèrent que la propension individuelle au traitement perceptuel influence davantage les intrusions que les manipulations expérimentales.

En ce sens, des études ont utilisé un questionnaire pour explorer les effets des différences individuelles dans le style de traitement (perceptuel vs conceptuel) sur les intrusions d'un film ou d'images négatives (Laposa & Rector, 2012; Morina et al., 2013; Regambal & Alden, 2009; Sündermann et al., 2013). Le style de traitement était mesuré immédiatement après l'exposition au contenu émotionnel et les intrusions étaient rapportées sur une période variant de cinq minutes à deux semaines. Dans ces études, un style de traitement plus perceptuel était systématiquement corrélé à davantage d'intrusions (Laposa & Rector, 2012; Morina et al., 2013; Regambal & Alden, 2009; Sündermann et al., 2013). En somme, la recherche soutient l'idée qu'un style de traitement plus perceptuel au moment de l'encodage en mémoire est lié à davantage d'intrusions, et les effets observés sont généralement d'une grande amplitude (pour une revue systématique : Marks et al., 2018).

Synthèse des théories sur la mémoire et les intrusions

Les modèles théoriques proposent des mécanismes différents, mais néanmoins complémentaires, pour expliquer les intrusions en mettant l'accent sur différents processus mnésiques. Premièrement, la récupération des intrusions résulterait d'un apprentissage associatif implicite reliant de manière exagérée des stimuli perceptuels neutres de l'environnement à ceux présents pendant le trauma (Ehlers et al., 2002, 2004, 2006; Michael et al., 2005b; Michael & Ehlers, 2007). Deuxièmement, les fragments de

souvenirs sensoriels-perceptuels du trauma seraient consolidés séparément des autres souvenirs épisodiques, ce qui les rend plus susceptibles de ressurgir spontanément sans leur contexte approprié (Brewin et al., 2010, 2025; Ehlers & Clark, 2000; Liberzon & Abelson, 2016). Troisièmement, ces processus de récupération et de consolidation des intrusions résulteraient d'un traitement de l'information davantage axé sur les aspects perceptuels lors de l'encodage en mémoire de l'évènement (Beierl et al., 2020; Ehlers & Clark, 2000; Sündermann et al., 2013). Une combinaison de ces différents processus mnésiques expliquerait les symptômes d'intrusions.

Bien que ces modèles proposent des explications théoriques intéressantes des processus mnésiques à l'origine des intrusions, leur précision est limitée par certaines lacunes méthodologiques. Notamment, certaines propositions (p. ex., Brewin, 2014; Brewin et al., 2010) s'appuient sur des preuves empiriques partielles et sur des généralisations qui dépassent les données disponibles (voir Rubin et al., 2016). Les processus mnésiques proposés sont rarement examinés de manière directe à l'aide de méthodes expérimentales rigoureuses. Par exemple, les études portant sur l'encodage reposent majoritairement sur des mesures corrélationnelles, issues de questionnaires évaluant des styles de traitement subjectifs (Laposa & Rector, 2012; Morina et al., 2013; Regambal & Alden, 2009; Sündermann et al., 2013). Par ailleurs, encore très peu d'études ont exploré les processus de mémoire implicite. Ainsi, la littérature manque de données plus directes, objectives et prospectives. Dans ce contexte, une approche expérimentale intégrant des mesures telles que l'électroencéphalographie (EEG) apparaît essentielle pour

appuyer ou nuancer les modèles théoriques existants. Cette mesure de l'activité cérébrale permet notamment d'observer les mécanismes neuronaux du traitement de l'information. Cette approche permet aussi d'identifier les mécanismes spécifiques impliqués dans les interactions bidirectionnelles entre le fonctionnement cognitif et les conséquences du trauma.

Fonctions cognitives associées au trauma et aux intrusions

La recherche montre des associations entre le fonctionnement cognitif et les réactions au trauma (Blanchette & Giroux, 2021; Malarbi et al., 2017; Polak et al., 2012; Scott et al., 2015; Woon et al., 2017). Des études rapportent que le fonctionnement cognitif avant l'évènement peut influencer les réactions à celui-ci (p. ex., DiGangi et al., 2013; Georgescu & Nedelcea, 2024). D'autres études montrent que l'exposition au trauma peut aussi affecter le fonctionnement cognitif (p. ex., Polak et al., 2012; Scott et al., 2015). Des différences dans l'intelligence, le raisonnement, les fonctions exécutives, l'attention et la mémoire de travail sont documentées en lien avec les symptômes du TSPT, notamment les intrusions (Ehlers et al., 2003; Gilbertson et al., 2006; Jacob et al., 2019; Scott et al., 2015). La prochaine section passe en revue les relations bidirectionnelles entre certaines fonctions cognitives et la symptomatologie post-traumatique, en examinant leur cohérence avec les mécanismes de la mémoire présentés en amont. Certaines limites des travaux antérieurs sont mises en lumière qui peuvent être comblées par des études expérimentales en neurosciences.

Intelligence, raisonnement et exposition au trauma

L'intelligence est un terme général référant aux capacités à apprendre, comprendre, raisonner, résoudre des problèmes et s'adapter à de nouvelles situations (Chen et al., 2019; Nisbett et al., 2012). Elle regroupe donc un ensemble d'habiletés cognitives mesurées par des tests psychométriques : raisonnement verbal et non-verbal, mémoire de travail et vitesse de traitement de l'information (Weschler, 2008). La mesure combinée de ces différentes fonctions cognitives donne le quotient intellectuel (QI; Weschler, 2008). La recherche montre des associations entre le QI global et le TSPT.

Chez des vétérans, un QI plus faible mesuré avant le combat est associé au risque de développer un TSPT après le déploiement, et ce, même lorsque le niveau d'exposition au trauma est contrôlé (Kremen et al., 2007; Macklin et al., 1998). Par ailleurs, lorsque le QI avant le combat est contrôlé, le QI mesuré après le combat n'est pas lié aux symptômes du TSPT, ce qui montre que l'intelligence n'est pas affectée par le trauma (Macklin et al., 1998). Une autre étude a examiné le fonctionnement neuropsychologique de vétérans, avec et sans TSPT, ainsi que de leurs jumeaux monozygotes non-exposés au trauma (Gilbertson et al., 2006). Le QI global était inférieur, non seulement pour le groupe TSPT, mais aussi pour leurs jumeaux non-exposés au trauma, comparé au groupe de vétérans sans TSPT et leurs jumeaux non-exposés (Gilbertson et al., 2006). Ces résultats soutiennent le fait que le fonctionnement intellectuel avant le trauma est un facteur de vulnérabilité au développement du TSPT. Cela confirme que ni l'exposition au trauma ni

le TSPT n'affectent l'intelligence. Des capacités intellectuelles plus faibles semblent prédisposer à développer un TSPT suivant l'exposition au trauma.

Il est cependant important de noter que dans la plupart des études citées, aucun des participants n'atteignait de seuil clinique de déficits cognitifs : les scores de QI des participants ayant un TSPT se situaient dans la moyenne, alors que les participants exposés au trauma sans TSPT obtenaient des scores se situant dans la haute moyenne (Gilbertson et al., 2006; Macklin et al., 1998). Ces résultats montrent donc qu'une meilleure intelligence agit comme un facteur de protection suivant une éventuelle exposition au trauma. Un QI dans la moyenne ne suffit pas à réduire significativement le risque de TSPT; seul un QI à partir de la haute moyenne (au moins un écart-type au-dessus de la moyenne) semble avoir un effet protecteur (Breslau et al., 2006; Gilbertson et al., 2006; Macklin et al., 1998). Néanmoins, parmi les individus atteints de TSPT, des corrélations sont observées entre le QI préexistant et la sévérité des symptômes post-traumatiques (p. ex., Gilbertson et al., 2006). Les tailles d'effet de ces corrélations sont modérées, même en contrôlant le niveau d'exposition au trauma, le niveau d'éducation et le statut socioéconomique (Buckley et al., 2000).

Il est également important de souligner qu'une intelligence plus élevée est aussi associée à une probabilité réduite d'être exposé au trauma, du moins chez les adolescents (Breslau et al., 2006). Des jeunes dont le QI se situait dans la haute moyenne à l'âge de 6 ans étaient moins susceptibles d'avoir été exposés à divers traumas à l'âge de 17 ans

(Breslau et al., 2006). En appui aux études mentionnées précédemment, ces jeunes étaient également moins à risque de développer un TSPT s'ils avaient été exposés au trauma par rapport aux jeunes dont le QI à 6 ans se situait dans la moyenne ou en dessous (Breslau et al., 2006). De plus, un QI plus élevé protégeait aussi les jeunes présentant des vulnérabilités psychiatriques (antécédents d'anxiété ou de problèmes de conduites) fréquemment associées au risque de développer un TSPT (Breslau et al., 2006). Ainsi, un QI plus élevé conduit à une meilleure habileté à éviter les situations potentiellement traumatiques, de même qu'à mieux faire face à leurs impacts psychologiques dans le cas où elles se produisent. Le mécanisme par lequel une meilleure intelligence protège des conséquences du trauma demeure mal compris. Il est suggéré que certains aspects du fonctionnement intellectuel soient spécifiquement liés aux symptômes du TSPT, et plus précisément aux intrusions.

Liens entre le raisonnement et les intrusions

Le raisonnement abstrait est une dimension importante de l'intelligence et compte pour une grande partie de la variance dans les scores de QI global (Chen et al., 2019; Nisbett et al., 2012). Le raisonnement abstrait est la capacité à comprendre des concepts qui ne sont pas directement observables et tangibles (Barsalou, 2005; Wax, 2021; Wilson-Mendenhall et al., 2013). Il permet d'identifier des relations entre des items, faire des généralisations et résoudre des problèmes sans s'appuyer sur des éléments concrets (Barsalou, 2005). Les capacités de raisonnement abstrait peuvent être conceptualisées comme étant sur un continuum allant d'un mode de pensée plus concret (basé sur des

éléments tangibles observables) vers un mode plus abstrait (basé sur des idées, catégories ou concepts plus larges détachés des observations tangibles). Ainsi, le raisonnement abstrait est basé sur un style de traitement de l'information plus contextuel, permettant une interprétation intégrée dans un cadre conceptuel plus large et moins basé sur des éléments perceptuels concrets.

Il est suggéré que ce serait plus spécifiquement les mesures de raisonnement abstrait, et non le QI global, qui seraient liées aux symptômes post-traumatiques. Par exemple, des enfants atteints de TSPT performant moins bien à des tâches de raisonnement abstrait que des enfants non-exposés au trauma appariés pour le QI global, l'âge, le sexe, l'ethnie, le statut socioéconomique et la médication (Beers & De Bellis, 2002). Une étude longitudinale auprès de 1600 jeunes adultes australiens a montré que les symptômes d'intrusions et d'hyperréactivité du TSPT après une catastrophe naturelle (feux de brousse) étaient inversement associés à une mesure de raisonnement abstrait, évaluée trois ans avant (Parslow & Jorm, 2007). Cela suggère que le raisonnement abstrait préexistant influence l'occurrence de symptômes post-traumatiques et de manière plus spécifique les intrusions et l'hyperréactivité. En appui à cette conclusion, une association a été trouvée entre une mesure de raisonnement abstrait avant un film émotionnel et la fréquence des intrusions rapportées après le film par des participants sans TPST (Sopp et al., 2020). Ainsi, même en dehors du TPST, les différences individuelles en termes de raisonnement abstrait sont liées à des réactivations involontaires d'un contenu émotionnel.

Mécanismes sous-jacents au lien entre le raisonnement et les intrusions

Un meilleur raisonnement abstrait pourrait être lié à des processus de traitement plus conceptuel, c'est-à-dire analyser le sens de l'évènement, sa signification, son organisation temporelle et l'intégration dans son contexte. Inversement, une plus faible capacité de raisonnement abstrait pourrait être associée à un traitement moins conceptuel et davantage axé sur les impressions sensorielles et les aspects perceptuels de l'évènement. Tel que présenté précédemment, une tendance à un traitement plus perceptuel est liée à davantage d'intrusions (p. ex., Laposa & Rector, 2012; Morina et al., 2013; Regambal & Alden, 2009; Sündermann et al., 2013).

Conformément à cette idée, des études montrent qu'une plus faible performance à des tâches de raisonnement abstrait est liée à un style de traitement moins conceptuel et plus perceptuel, tel que mesuré par des questionnaires (Halligan et al., 2002; Sündermann et al., 2013). Une étude en électroencéphalographie (EEG) a examiné si le fait d'amorcer un mode de traitement conceptuel ou perceptuel, à l'aide d'une tâche de raisonnement abstrait ou concret effectuée avant le visionnement d'un film émotionnel, influençait la façon dont le cerveau traitait par la suite des images reliées au film. (Leblanc-Sirois et al., 2021). L'amorçage d'un traitement plus conceptuel par la tâche de raisonnement abstrait a réduit le niveau de traitement perceptuel (mesuré par l'EEG) spécifiquement sur les images reliées au film émotionnel par rapport à des images négatives et neutres non-reliées (Leblanc-Sirois et al., 2021). Ce résultat suggère que les stratégies de traitement plus abstraites ont un impact sur la manière dont les événements émotionnels sont encodés en

mémoire. Ainsi, il est plausible que les différences individuelles en matière de raisonnement abstrait soient également associées à des variations dans le degré de traitement perceptuel lors de l'encodage d'un événement. Le lien entre le raisonnement et les intrusions pourraient donc s'expliquer par le niveau de traitement perceptuel.

Limites des études antérieures

La principale limite des travaux sur le traitement perceptuel est l'utilisation de questionnaires pour le mesurer (p. ex., Halligan et al., 2002; Sündermann et al., 2013). Ces mesures subjectives exigent que les participants autoévaluent de manière rétrospective leurs expériences perceptuelles, ce qui est susceptible d'être influencé par une multitude de biais (p. ex., mauvaise interprétation des questions, minimiser ou surévaluer certaines perceptions, souvenirs imprécis). Par ailleurs, les questionnaires ne peuvent évaluer que les processus conscients, alors que le traitement perceptuel est un processus largement automatique par lequel le cerveau traite les informations. Ainsi, les potentiels évoqués, qui mesurent l'activité cérébrale en temps réel, peuvent fournir des données plus directes et objectives sur le niveau de traitement perceptuel (p. ex., Leblanc-Sirois et al., 2021). Cette mesure est davantage détaillée dans la section présentant l'approche méthodologique générale de la thèse.

Une autre limite des travaux explorant le lien entre le raisonnement et les symptômes post-traumatiques est que ce lien pourrait s'expliquer par sa variance partagée avec d'autres fonctions cognitives, telles les fonctions exécutives, incluant le contrôle

attentionnel et la mémoire de travail. Par exemple, comparés à des vétérans exposés au trauma sans TSPT, des vétérans atteints de TSPT présentaient des habiletés de raisonnement verbales préservées, mais des performances diminuées pour l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives (Koso & Hansen, 2006). Des réfugiés ayant un TSPT présentaient des habiletés de raisonnement abstrait similaire à des réfugiés sans TSPT, mais une moins bonne mémoire de travail (Emdad & Söndergaard, 2006). La performance en mémoire de travail était corrélée au raisonnement chez les participants atteints de TSPT, mais pas pour les participants sans TPST (Emdad & Söndergaard, 2006).

Les relations entre le raisonnement, le contrôle attentionnel et la mémoire de travail se maintiennent sur une variété de tâches cognitives (Chen et al., 2019; Cowan, 2010; Conway et al., 2002; Shipstead et al., 2016; Süß et al., 2002). Le contrôle attentionnel est essentiel à la mémoire de travail en permettant de se focaliser sur les informations pertinentes à retenir tout en ignorant celles qui ne le sont pas (Awh et al., 2006; Cowan et al., 2024). La mémoire de travail est essentielle au raisonnement en permettant de maintenir et de manipuler simultanément plusieurs informations pour analyser, comparer et inférer à partir de celles-ci (Chen et al., 2019; Conway et al., 2002; Cowan, 2010; Nisbett et al., 2012; Shipstead et al., 2016). Le contrôle attentionnel et la mémoire de travail sont donc impliqués dans une variété de fonctions cognitives de plus haut niveau tels le raisonnement, et plus largement l'intelligence (Awh et al., 2006; Chen et al., 2019; Cowan et al., 2005, 2024).

En somme, les associations entre le fonctionnement intellectuel préexistant au trauma et les intrusions pourraient s'expliquer par (1) un lien spécifique entre raisonnement abstrait et traitement perceptuel; et/ou (2) par des interactions avec d'autres fonctions cognitives telles le contrôle attentionnel et la mémoire de travail. Les prochaines sections examinent comment le contrôle attentionnel et la mémoire de travail peuvent être liés aux intrusions.

Contrôle attentionnel, exposition au trauma et intrusions

Le contrôle attentionnel permet de focaliser ses ressources cognitives sur une information spécifique pertinente, tout en ignorant les distracteurs et en inhibant les réponses automatiques (Desimone & Duncan, 1995; Mackie et al., 2013). Une diminution du contrôle attentionnel peut être liée à plusieurs symptômes du TSPT, tels que la difficulté à inhiber les intrusions, une hypervigilance face aux stimuli rappelant l'évènement et les difficultés de concentration (Esterman et al., 2013). Une performance inférieure à des tâches de contrôle attentionnel a été observée dans diverses populations atteintes de TSPT (Beers & De Bellis, 2002; Jenkins et al., 2000; Lagarde et al., 2010; Litz et al., 1996), même en contrôlant l'âge, le sexe, l'ethnie, le statut socioéconomique, la médication et le QI global (Beers & De Bellis, 2002). Les résultats sont cependant mitigés quant à l'origine des diminutions du contrôle attentionnel, c'est-à-dire si elles sont liées à l'exposition au trauma ou au TSPT.

En appui à un lien spécifique au TSPT, une étude a révélé que des victimes d'agressions sexuelles atteintes de TSPT présentent des difficultés de contrôle attentionnel (tâche de Stroop) comparées à des victimes d'agressions sexuelles sans TSPT et à des participantes non-exposées au trauma (appariés pour l'âge et le niveau d'éducation; Jenkins et al., 2000). D'autres résultats appuient l'idée que l'exposition au trauma soit plus directement en cause : des femmes victimes de violence conjugale avec et sans TSPT ont obtenu des performances significativement inférieures en contrôle attentionnel que des femmes non-exposées appariées pour l'âge, l'éducation et le statut socioéconomique (Stein et al., 2002). Il est plausible de penser que l'exposition au trauma puisse entraîner une certaine diminution du contrôle attentionnel, laquelle devient plus significativement altérée dans le TSPT. Cela est soutenu par une étude révélant que des participants atteints de TSPT obtenaient des performances à une tâche de contrôle attentionnel (tâche de Stroop) significativement inférieures à celles des participants non-exposés au trauma, et que les performances de participants exposés au trauma sans TSPT se situaient à un niveau intermédiaire entre ces deux groupes (Flaks et al., 2014). Ces résultats suggèrent que l'exposition au trauma entraîne une difficulté à contrôler l'attention, et que cette difficulté est encore plus marquée chez les personnes présentant un TSPT.

Des travaux ont montré un lien plus spécifique entre le contrôle attentionnel et les intrusions plutôt que le TSPT de manière générale. Par exemple, chez des policiers atteints de TSPT, comparés à des policiers sans TPST, les domaines de l'attention et de la mémoire de travail étaient associés avec les symptômes d'intrusions, mais pas avec la sévérité

globale des symptômes de TSPT (Bisson-Desrochers et al., 2021). Deux études expérimentales ont mesuré les habiletés de contrôle attentionnel de participants non-cliniques avant qu'ils visionnent un film émotionnel (Verwoerd et al., 2011; Wessel et al., 2008). Ceux qui performaient moins bien à la tâche de contrôle attentionnel avant le film ont rapporté plus d'intrusions après le visionnement (Verwoerd et al., 2011; Wessel et al., 2008). Ces résultats suggèrent qu'une lacune préexistante sur le plan du contrôle attentionnel joue spécifiquement un rôle dans l'occurrence subséquente des intrusions, et ce, même indépendamment du TSPT.

Mécanismes sous-jacents au lien entre le contrôle attentionnel et les intrusions

Tel que présenté précédemment, les intrusions sont fréquemment déclenchées par des stimuli similaires à ceux présents lors de l'évènement (Ehlers et al., 2004, 2006; Michael et al., 2005b). Une difficulté de contrôle attentionnel pourrait donc contribuer aux intrusions en limitant la capacité à inhiber le traitement des stimuli rappelant le trauma. L'attention est déterminée par des processus stratégiques (explicites) et automatiques (implicites). Les processus stratégiques sont volontaires, contrôlés et impliquent un effort conscient (Pessoa et al., 2002). Les processus automatiques s'opèrent de manière involontaire (Öhman, 2002; Pessoa, 2005). Le contrôle attentionnel réfère donc à la capacité à mobiliser volontairement les processus stratégiques en inhibant les processus automatiques susceptibles d'attirer l'attention vers des stimuli liés au trauma et interférer avec la tâche en cours.

Le contrôle attentionnel peut être mesuré par des tâches qui mettent en évidence une performance diminuée lorsque l'attention est automatiquement orientée vers des informations non-pertinentes. Par exemple, la tâche d'interférence de Stroop (1935) consiste à nommer la couleur de l'encre de noms de couleur, tout en ignorant la signification du mot lui-même (p. ex., le mot rouge écrit en bleu). Les temps de réponse indexent le contrôle attentionnel : la mesure dans laquelle les processus automatiques de lecture interfèrent avec les processus stratégiques volontaires de dénomination de la couleur (Delis et al., 2007; Stroop, 1935). Cette tâche a été adaptée pour examiner les effets de l'interférence émotionnelle (Ray, 1979). La tâche de Stroop émotionnelle consiste à nommer la couleur de l'encre de mots ayant une valence émotionnelle (p. ex., le mot accident écrit en bleu). Les délais dans les réponses à certaines catégories spécifiques de mots (comparés aux autres catégories), indiquent la mesure dans laquelle le traitement automatique du sens de ces mots interfère dans les processus stratégiques volontaires de dénomination de la couleur (Williams et al., 1996). Les mots ayant une valence négative constituent une source d'interférence plus prononcée que les mots neutres et positifs (p. ex., Öhman, 2002; Vuilleumier et al., 2001). Cette tendance de l'attention à s'orienter automatiquement vers certains stimuli est nommée biais attentionnel.

De nombreuses études ont utilisé la tâche de Stroop émotionnelle pour quantifier le biais attentionnel envers des stimuli liés au trauma (p. ex., Caparos & Blanchette, 2014; Cisler et al., 2011; Pineles et al., 2009). Les individus atteints de TSPT montrent des temps

de réponse plus lents pour des mots reliés au trauma et des mots généralement négatifs comparés à des mots neutres, alors que chez les individus exposés au trauma sans TPST, seuls les mots reliés au trauma ralentissent la performance (pour une méta-analyse : Cisler et al., 2011). Une plus grande sévérité rapportée du trauma (Caparos & Blanchette, 2014) et de symptômes de TSPT (Pineles et al., 2009) sont liées à une interférence plus marquée des mots reliés au trauma. Ainsi, l'exposition au trauma entraîne un biais attentionnel spécifiquement envers les informations liées à l'évènement, lequel semble généralisé dans le TSPT en s'étendant aux informations émotionnellement négatives de manière générale.

L'association entre l'attention portée à des stimuli liés au trauma et les symptômes post-traumatiques est également appuyée par des études expérimentales auprès de participants non-cliniques. Deux études impliquant l'exposition à un film émotionnel ont utilisé une tâche de présentation visuelle sérielle (RSVP) pour examiner le lien entre le biais attentionnel envers des images du film émotionnel et les intrusions (Verwoerd et al., 2009, 2012). Dans cette tâche, les participants devaient détecter des images cibles d'un objet spécifique parmi une série d'images présentées rapidement comprenant des images du film et des images neutres non-reliées. Des temps de réaction plus lents pour détecter les cibles suivant les images du film indiquaient un biais attentionnel envers le contenu émotionnel du film, lequel prédisait la fréquence des intrusions rapportées durant les jours suivants (Verwoerd et al., 2009, 2012). Ainsi, les capacités à contrôler l'attention en présence de rappels d'un contenu émotionnel sont liées aux intrusions indépendamment du TPST.

Limites des études antérieures

Une première limite concerne la possibilité que l'interférence pour des mots liés au trauma ne soit pas due à leur caractère émotionnel en soi, mais reflète plutôt le degré auquel ces mots sont sémantiquement liés à des concepts personnellement pertinents. Dans la majorité des études utilisant la tâche de Stroop émotionnelle, les mots neutres ne font pas référence à un événement personnel pertinent. Il est donc impossible d'affirmer avec certitude que l'interférence observée pour les mots liés au trauma ne découle pas simplement du fait qu'ils sont associés à une expérience vécue antérieurement. Par exemple, une étude a montré que des ornithologues présentaient une interférence de dénomination des couleurs de noms d'oiseaux rares par rapport à des noms d'instruments de musique, ce qui n'était pas observé chez un groupe contrôle non spécialiste des oiseaux (Daglish, 1995). Dans deux études expérimentales, des participants non-cliniques exposés à un film négatif et un film neutre ont ensuite montré une interférence pour les mots liés aux films dans une tâche de Stroop émotionnelle, peu importe la valence du film (Grégoire et al., 2021; Leblanc-Sirois et al., 2021). Ces résultats suggèrent donc que c'est l'expérience antérieure, plutôt que son caractère émotionnel, qui cause de l'interférence.

Une deuxième limite concerne la nature des stimuli employés dans la plupart des études sur le biais attentionnel. Les modèles théoriques des intrusions suggèrent que les stimuli ayant une similarité perceptuelle avec l'évènement sont susceptibles de déclencher des intrusions (Ehlers & Clark, 2000; Michael & Ehlers, 2007). La plupart des études ont utilisé des mots comme stimuli, ce qui ne permet pas d'évaluer les effets de la similarité

perceptuelle. L'utilisation d'images permettrait d'examiner plus spécifiquement comment les processus attentionnels automatiques de nature perceptuelle interfèrent dans les processus stratégiques de contrôle attentionnel. Par exemple, une personne victime d'un accident impliquant une voiture bleue pourrait avoir de la difficulté à détourner son attention lorsqu'elle voit une voiture bleue. Des mots comme « voiture », « accident » ou « bleu » capteraient moins bien ce biais de nature perceptuel, que des images de voitures bleues ou de voitures accidentées par exemple. Deux études précédemment mentionnées ont employé des images pour montrer un lien entre le biais attentionnel et les intrusions (Verwoerd et al., 2009, 2012). Cependant, aucune des images contrôles ne faisait référence à un évènement antérieur pertinent tel qu'un film neutre par exemple. Ainsi, il n'est pas possible de conclure que c'est l'aspect émotionnel du film qui provoquait l'interférence et pas seulement le fait d'y avoir été exposé précédemment.

Enfin, aucune étude n'a examiné le lien possible entre les capacités de raisonnement et de contrôle attentionnel en présence de stimuli liés au trauma. Tel que présenté précédemment, le contrôle attentionnel est une habileté corrélée à l'intelligence (Chen et al., 2019). Un faible contrôle attentionnel pourrait entraîner une difficulté à détourner l'attention des stimuli perceptuellement similaire au trauma, ce qui pourrait augmenter la probabilité de déclencher des intrusions dans la vie de tous les jours. La relation entre le raisonnement et les intrusions pourrait donc s'expliquer par sa variance partagée avec les habiletés de contrôle attentionnel.

Mémoire de travail, exposition au trauma et intrusions

La mémoire de travail est la capacité cognitive qui permet de maintenir temporairement actives et manipuler des informations afin d'accomplir une tâche (Awh et al., 2006; Baddeley, 2012; Cowan, 2010; Cowan et al., 2005, 2024). La mémoire de travail a une capacité de rétention limitée : en moyenne entre quatre et sept items peuvent être maintenus simultanément (Cowan, 2010). Pour ce faire, divers mécanismes sont en jeu : allocation des ressources attentionnelles, mise à jour des informations maintenues, inhibition des interférences et intégration avec des informations en mémoire épisodique (Baddeley, 2012; Cowan et al., 2024; Unsworth & Engle, 2007). La mémoire de travail repose donc, en partie, sur les habiletés de contrôle attentionnel décrites précédemment (Awh et al., 2006; Cowan et al., 2024). Le contrôle attentionnel permet de prioriser le traitement des informations à maintenir actives et d'inhiber celles qui ne sont pas (ou plus) pertinentes à la tâche en cours (Cowan et al., 2024). Ainsi, alors que le contrôle attentionnel permettrait d'éviter le déclenchement des intrusions provoquées par des stimuli similaires au trauma, la mémoire de travail permettrait d'inhiber ces intrusions lorsqu'elles sont déclenchées.

Des diminutions de la mémoire de travail sont largement documentées chez les personnes atteintes de TSPT (Aupperle et al., 2012; Norte et al., 2024; Scott et al., 2015; Stein et al., 2002). Le TSPT est lié à la fois à des capacités moindres de rétention et de mise à jour des informations en mémoire de travail (Nejati et al., 2018; Norte et al., 2024). Des difficultés plus importantes de mémoire de travail sont par ailleurs associées à une

plus grande sévérité de symptômes post-traumatiques (p. ex., Blanchette et al., 2019; Mathew et al., 2022). Il y a des preuves d'un lien spécifique entre la mémoire de travail et les symptômes d'intrusions. Par exemple, une relation négative est observée entre la mémoire de travail et les symptômes d'intrusions, mais pas avec les autres groupes de symptômes, chez des individus présentant des niveaux de sévérité variable de symptômes de TSPT (Bomyea et al., 2012; Mathew et al., 2022). En somme, les difficultés en mémoire de travail dans le TSPT semblent plus spécifiquement liées aux intrusions plutôt qu'à la symptomatologie globale.

Il y a des preuves que les capacités de mémoire de travail avant le trauma influencent le développement des intrusions après l'exposition. Par exemple, des études expérimentales montrent qu'une mémoire de travail préexistante plus faible est associée à davantage d'intrusions après l'exposition à un contenu émotionnel (p. ex., Curci et al., 2013; Streb et al., 2016). Dans l'étude longitudinale auprès de 1600 jeunes adultes australiens mentionnée précédemment, les symptômes d'intrusions et d'hyperréactivité du TSPT après une catastrophe naturelle étaient inversement associés à la capacité de mémoire de travail évaluée trois ans avant (Parslow & Jorm, 2007). Ces résultats prenaient en compte divers facteurs pouvant expliquer des performances plus faibles lors de l'évaluation initiale : la présence de symptômes dépressifs, la consommation d'alcool, l'âge, le niveau d'éducation, le genre et l'exposition à d'autres traumas (Parslow & Jorm, 2007). Mises ensemble, ces conclusions montrent que des faiblesses préexistantes en mémoire de travail prédisposent au développement des intrusions après le trauma.

Mécanismes sous-jacents au lien entre la mémoire de travail et les intrusions

Les capacités de mémoire de travail varient d'une personne à l'autre et fluctuent au fil du temps (Cowan, 2010). Les différences individuelles sur le plan de la mémoire de travail peuvent résulter de différences en termes de quantité d'informations pouvant être maintenues actives ou par l'efficacité des processus qui sous-tendent cette capacité de rétention (Cowan, 2010). L'efficacité de ces processus repose sur la capacité à se focaliser sur les éléments pertinents en inhibant les informations non liées à la tâche (Cowan, 2010; Cowan et al., 2024). Autrement dit, une faible capacité rétentive pourrait s'expliquer par le fait qu'une partie de la mémoire travail est occupée par des informations non pertinentes (Cowan et al., 2024; Vogel et al., 2005).

Il a été suggéré que les diminutions de la mémoire de travail dans le TSPT reposent plus spécifiquement sur une difficulté à inhiber des informations non-pertinentes (Brewin & Smart, 2005; Cottencin et al., 2006; Nejati et al., 2018). Par exemple, dans une étude où des mots étaient présentés avec des consignes indiquant lesquels devaient être mémorisés ou oubliés, des participants atteints de TSPT rappelaient plus de mots à oublier, et moins de mots à retenir, comparativement à des participants non-cliniques (Cottencin et al., 2006). Ces résultats appuient l'idée qu'une difficulté à inhiber les informations non pertinentes est impliquée dans les diminutions de la mémoire de travail dans le TSPT. La mémoire de travail est particulièrement vulnérable aux distracteurs émotionnels, en particulier ceux ayant une valence négative (p. ex., Grissmann et al., 2017; Long et al., 2020; Plancher et al., 2019; Stout et al., 2020; pour une revue : Schweizer et al., 2019). Il

est donc plausible qu'après l'exposition au trauma, des intrusions soient activées en mémoire de travail et puissent interférer avec les informations pertinentes à maintenir. Une moins bonne capacité de mémoire de travail pourrait donc être liée à une difficulté à inhiber ces intrusions pour maintenir les informations pertinentes.

Limites des études antérieures

La principale limite de la recherche actuelle sur le lien entre la mémoire de travail et les intrusions est l'ambiguïté quant à l'origine des diminutions observées : il n'est pas clair si celles-ci sont liées à l'exposition au trauma ou spécifiquement au TSPT. En effet, des diminutions de la mémoire de travail sont également documentées en lien plus direct avec l'exposition au trauma. Par exemple, l'adversité vécue durant l'enfance est liée à une mémoire de travail plus faible (Fuge et al., 2014; Goodman et al., 2019; Op den Kelder et al., 2018). Une plus grande sévérité d'exposition au trauma est par ailleurs associée à une mémoire de travail plus faible (Blanchette & Caparos, 2016; Caparos & Blanchette, 2014), même plusieurs années après l'exposition (Blanchette et al., 2019; Goodman et al., 2019). L'impact de l'exposition au trauma sur la mémoire de travail est également suggéré par des résultats expérimentaux. Plusieurs études ont montré qu'une exposition préalable à un contenu émotionnellement négatif affecte la mémoire de travail (p. ex., Choi et al., 2013; Long et al., 2020; pour une revue : Ribeiro et al., 2019). Ainsi, le fait que la mémoire de travail préexistante est liée aux intrusions après le trauma n'exclut pas la possibilité que la mémoire de travail puisse également être affectée par l'exposition au trauma. Les mécanismes expliquant ce possible impact du trauma sur la mémoire de travail demeurent

inconnus. La littérature manque de travaux conçus précisément pour examiner de manière plus directe les mécanismes neurocognitifs de la mémoire de travail après l'exposition à un contenu émotionnel.

La présence d'intrusions pourrait interférer dans les mécanismes de mise à jour de la mémoire de travail en occupant une partie de l'espace nécessaire au maintien des informations pertinentes. Afin de mieux comprendre le possible effet interférent des intrusions sur la mémoire de travail, les potentiels évoqués peuvent être utiles pour examiner les processus neurocognitifs sous-jacents. Par exemple, des associations ont été trouvées entre des mesures électroencéphalographiques indexant la charge en mémoire en travail et la propension aux intrusions (mesurée par des questionnaires) auprès de participants atteints de TSPT (composantes frontales et pariétales entre 400 et 800 ms; Weber et al., 2005) et de participants sans TSPT exposés à un contenu émotionnellement négatif en laboratoire (composante CDA; Figueira et al., 2017). Il est donc plausible que la présence d'intrusions contribue à surcharger la mémoire de travail, et que cela puisse être observé plus directement par les potentiels évoqués. Ce point est approfondi dans la section présentant l'approche méthodologique générale de la thèse.

Une autre limite concerne le fait que les travaux précédents examinant les liens entre la mémoire de travail et les intrusions ont généralement utilisé des questionnaires pour mesurer les intrusions (p. ex., Figueira et al., 2017; Klein & Boals, 2001; Weber et al., 2005). Ces questionnaires évaluent la tendance individuelle à éprouver des intrusions de

manière générale, ils n'indiquent pas la fréquence spécifique des intrusions après un événement émotionnel. Enfin, puisqu'un certain nombre d'études appuie un lien entre la mémoire de travail préexistante et les intrusions après l'exposition au trauma (p. ex., Curci et al., 2013; Parslow & Jorm, 2007; Streb et al., 2016), il est nécessaire de prendre en compte les capacités individuelles lorsque l'impact du trauma et des intrusions sur la mémoire de travail est examiné.

Dans l'ensemble, les résultats antérieurs montrent que (1) les capacités de mémoire travail sont associées aux différences individuelles dans la propension aux intrusions et que (2) la mémoire de travail semble être affectée par l'exposition au trauma. Cependant, il reste incertain dans quelle mesure la mémoire de travail constitue un facteur préexistant contribuant aux intrusions, ou si ces intrusions affectent plutôt la mémoire de travail, ou encore si une interaction complexe entre les deux est en jeu. La mémoire de travail pourrait ainsi jouer un double rôle, tant comme facteur de vulnérabilité initiale que comme une fonction affectée par le trauma. Si l'exposition au trauma entraîne une diminution de la mémoire de travail, cela pourrait rendre les individus encore plus vulnérables aux intrusions, en réduisant leur capacité à les inhiber efficacement.

Synthèse des liens entre fonctions cognitives, trauma et intrusions

L'intelligence, et plus spécifiquement le raisonnement abstrait, apparaît comme un facteur préexistant pouvant influencer l'occurrence des intrusions et donc de la symptomatologie post-traumatique. Toutefois, le mécanisme par lequel cet effet s'opère

demeure inconnu. Il pourrait être lié au degré de traitement perceptuel au moment de l'encodage en mémoire de l'évènement. Il pourrait aussi être lié au contrôle attentionnel en présence de stimuli rappelant l'évènement, lesquels tendent à déclencher des intrusions. Aucune étude n'a encore exploré les liens entre ces variables. Les études antérieures sont limitées par l'utilisation de mesures subjectives du traitement perceptuel et par le manque de spécificité des stimuli utilisés en lien avec les modèles théoriques (mots versus images, reliés à une expérience personnelle pertinente versus au caractère émotionnel).

Concernant la mémoire de travail, il apparaît clair qu'elle est associée aux intrusions suivant l'exposition au trauma. Toutefois, il demeure incertain dans quelle mesure la mémoire de travail influence l'occurrence des intrusions ou si celles-ci affectent la mémoire de travail ou encore une combinaison des deux. Aucune étude n'a encore examiné la mémoire de travail avant et après l'exposition à un contenu émotionnel ni l'impact des intrusions spécifiquement induites par ce contenu. Les études antérieures sont limitées par l'absence d'une mesure des mécanismes neurocognitifs de la mémoire de travail et par l'utilisation de questionnaire mesurant les propensions individuelles aux intrusions de manière générale.

En somme, les relations entre le fonctionnement cognitif et les conséquences du trauma semblent bidirectionnelles et varient selon les fonctions cognitives. Certaines, comme le raisonnement, semblent être un facteur préexistant pour le développement des intrusions, alors que d'autres, comme la mémoire de travail, semblent aussi pouvoir

diminuer après l'exposition au trauma, et cette diminution pourrait contribuer aux intrusions. Pour explorer ces dynamiques complexes, un devis prospectif est essentiel. Afin d'identifier les mécanismes sous-jacents à ces interactions, l'utilisation de paradigmes expérimentaux est également nécessaire.

Approche méthodologique

L'un des principaux défis de la recherche sur l'exposition au trauma est que les événements potentiellement traumatiques sont imprévisibles. Dans la plupart des études, les performances cognitives d'individus ayant déjà été exposés au trauma sont comparées à ceux n'y ayant pas été exposés ou n'ayant pas développé de TSPT. Cependant, en l'absence de mesures préexposition, ces études ne peuvent que constater des corrélations entre symptomatologie du TSPT et fonctions cognitives, sans pouvoir distinguer ce qui précède de ce qui résulte de l'exposition au trauma. Bien que les études longitudinales fournissent des informations précieuses sur les facteurs préexposition au trauma, elles n'informent pas sur les mécanismes en jeu au moment de l'évènement.

Une compréhension complète des interactions entre émotion et cognition suivant un événement potentiellement traumatique doit intégrer aux résultats rétrospectifs, longitudinaux et subjectifs des résultats provenant de paradigmes expérimentaux prospectifs et objectifs. Pour mieux comprendre les interactions entre les fonctions cognitives et l'occurrence des intrusions, il est crucial d'intégrer les études expérimentales aux études cliniques. Les méthodes expérimentales permettent d'identifier d'éventuels

mécanismes dans les processus cognitifs tels que le raisonnement, la perception, l'attention et la mémoire de travail chez les personnes exposées au trauma. Les neurosciences sont particulièrement utiles pour comprendre les interactions cognition-émotions, car elles permettent d'examiner les mécanismes cérébraux sous-jacents aux réponses comportementales. Les mesures électroencéphalographiques permettent notamment d'accéder aux mécanismes de traitement de l'information perceptuel et de la charge en mémoire de travail. Cette section décrit les méthodes utilisées dans les différentes études de cette thèse.

Paradigme de trauma analogue

Les trois études de cette thèse emploient le paradigme de trauma analogue, une méthode expérimentale qui consiste à montrer un court film émotionnellement négatif à des participants non-cliniques (pour des revues : Holmes & Bourne, 2008; James et al., 2016). Cette méthode permet d'étudier l'exposition au trauma et ses conséquences dans un cadre expérimental contrôlé. Tous les participants sont exposés au même évènement pendant une durée identique, et leurs réactions sont mesurées de manière uniforme après un intervalle de temps équivalent. Les films utilisés comprennent des scènes correspondant à la définition d'un évènement potentiellement traumatique « exposition à la mort réelle ou à une menace de mort, à une blessure grave ou à des violences sexuelles » (Critère A du TSPT, DSM-5-TR, APA, 2022). Pour des raisons éthiques évidentes, les stimuli utilisés dans les paradigmes de trauma analogue visent à induire des réactions de plus faible intensité et de plus courte durée que les véritables évènements potentiellement

traumatiques, se limitant au maximum à quelques jours après l'exposition (Stirling et al., 2023). Néanmoins, bien qu'à beaucoup plus petite échelle, ces réactions s'apparentent à celles observées après des événements potentiellement traumatiques réels, tant sur des mesures subjectives qu'objectives telles que les réponses physiologiques au stress (pour des revues : Holmes & Bourne, 2008; James et al., 2016). L'étude 1 de cette thèse visait à valider un montage vidéo de scènes d'accidents de la route en tant que paradigme de trauma analogue. Les études 2 et 3 emploient ce film pour étudier de manière prospective les interactions entre fonctions cognitives avant et après le trauma analogue et les intrusions.

L'étude des intrusions est l'un des principaux usages du paradigme de trauma analogue (pour des revues : Holmes & Bourne, 2008; James et al., 2016). Deux méthodes sont généralement utilisées pour mesurer les intrusions : un journal sur plusieurs jours et sur une courte période en laboratoire (James et al., 2016). Avec la méthode du journal, les participants doivent noter chaque intrusion liée au film dans un journal en ligne ou papier, généralement pendant quatre à sept jours après le visionnement (p. ex., Chou et al., 2014; Hagedaars et al., 2010; Holmes et al., 2004). La méthode en laboratoire consiste à demander aux participants de signaler leurs intrusions sur une durée de quelques minutes (généralement entre trois et cinq minutes) peu de temps après le visionnement du film (p. ex., Grégoire et al., 2021; Nixon et al., 2009). Contrairement aux questionnaires qui quantifient la propension individuelle à éprouver des intrusions de manière générale, ces deux mesures d'intrusions permettent d'obtenir leur fréquence spécifique après un trauma

analogue. L'étude 1 explore l'association entre ces deux mesures d'intrusions (courte période immédiatement après le visionnement et journal durant les jours suivants). L'étude 2 emploie la méthode du journal d'intrusions sur cinq jours. L'étude 3 utilise une mesure sur cinq minutes immédiatement après le visionnement en laboratoire.

Mesures des processus implicites

Les processus implicites de traitement de l'information peuvent être mesurés par des tâches de facilitation et des tâches d'interférence. Ces types de paradigmes expérimentaux se distinguent par leurs mécanismes sous-jacents et les effets qu'ils mesurent. Ci-dessous sont présentées les tâches employées dans les études 1 et 2 afin d'examiner le rôle du traitement implicite de stimuli liés au trauma analogue.

Tâche de décision lexicale

Une des manières d'accéder à la mémoire implicite est par une tâche de facilitation. Ce type de paradigme mesure le degré auquel la priorisation automatique de l'attention envers des stimuli pertinents améliore la performance dans une tâche qui bénéficie de ce traitement implicite préférentiel (p. ex., Imbir et al., 2016, 2020). Ce type de tâche repose sur les principes d'amorçage : reconnaître ou identifier plus facilement un stimulus parce qu'il réfère à une exposition récente (Squire & Dede, 2015). La tâche de décision lexicale permet de quantifier le niveau d'activation implicite de concepts spécifiques en mémoire (Meyer & Schvaneveldt, 1971). Les participants doivent juger la lexicalité de mots et de non-mots (p. ex., ACCIDENT et ICCADENT). Les temps de réponse sont plus rapides

lorsque les mots font partie d'un réseau de concepts sémantiques activés en mémoire implicite. Ce paradigme permet donc d'examiner la mesure dans laquelle l'identification de stimuli est facilitée en raison d'une exposition antérieure à un stimulus associé (Squire & Dede, 2015). L'étude 1 vise à valider qu'une tâche de décision lexicale peut être utilisée en combinaison du paradigme de trauma analogue pour examiner les activations implicites de concepts en mémoire suivant l'exposition au film. Elle explore également si une plus grande activation de concepts est liée aux intrusions. Les modèles théoriques mettent de l'avant le rôle des processus implicites dans l'occurrence des intrusions : activation automatique indépendante de la volonté (p. ex., Brewin et al., 2010; Ehlers & Clark, 2000). Par ailleurs, les personnes ne sont pas toujours pleinement conscientes qu'elles sont engagées dans des souvenirs involontaires (p. ex., Baird et al., 2013; Smallwood & Schooler, 2006; Takarangi et al., 2014), ce qui limite la fiabilité des mesures autorapportées d'intrusions. La tâche de décision lexicale peut ainsi être un complément utile aux mesures autorapportées et permettre d'accéder à la mémoire implicite suivant l'exposition au trauma.

Tâche de Stroop émotionnelle en images

Une des manières d'examiner dans quelle mesure le traitement implicite de stimuli liés au trauma perturbe les processus cognitifs explicites est par une tâche d'interférence. Tel que présenté précédemment, ce type de paradigme mesure le biais attentionnel envers certains stimuli, c'est-à-dire le degré auquel certaines informations non-pertinentes à la tâche captent automatiquement l'attention et ralentissent la performance. La capacité à

contrôler l'attention spécifiquement en présence de rappels du trauma peut être mesurée à l'aide d'une tâche de Stroop émotionnelle en images (Bielecki et al., 2017). Il s'agit d'une adaptation visuo-perceptuelle de la tâche de Stroop émotionnelle décrite précédemment. La version imagée consiste à identifier la couleur de rectangles suivant la présentation d'images négatives ou neutres reliées ou non-reliées au film. L'étude 2 emploie cette tâche pour quantifier le biais attentionnel envers les images reliées au trauma analogue, c'est-à-dire les délais dans les réponses pour identifier la couleur des rectangles suivant les images liées au trauma par rapport à des images négatives et neutres non-reliées. L'utilisation d'images (plutôt que de mots) est motivée par les modèles théoriques qui mettent l'accent sur les caractéristiques perceptuelles des stimuli déclenchant les intrusions (Ehlers et al., 2004, 2006; Ehlers & Clark, 2000; Michael et al., 2005b). Ainsi, l'utilisation de stimuli visuels faisant directement référence au film présenté précédemment s'apparente davantage aux rappels perceptuels de l'environnement après un évènement potentiellement traumatique réel (Verwoerd et al., 2012). La présence d'un groupe contrôle qui visionne un film émotionnellement neutre permet de vérifier que l'effet attendu est effectivement lié au caractère émotionnel du film et pas seulement au fait d'avoir vu un film précédemment.

Potentiels évoqués

Les potentiels évoqués issus du signal électroencéphalographique offrent un accès plus direct et objectif à des mécanismes neurocognitifs auxquels il n'est pas possible (ou difficile) d'accéder en demandant aux participants. L'activité électrique du cerveau est

enregistrée par des électrodes placées sur le cuir chevelu, qui se traduit dans un électroencéphalogramme (EEG). Les potentiels évoqués constituent une moyenne de l'activité électrique générée par les potentiels postsynaptiques de nombreux neurones en réaction à un évènement répété (stimuli ou réponses; Luck, 2014). Les potentiels évoqués permettent une discrimination temporelle précise (en millisecondes), reflétant moment par moment le traitement de l'information par le cerveau. Ils se décomposent en différentes composantes, chacune pouvant être liée à un type spécifique de traitement de l'information en fonction de la tâche et des stimuli présentés (Luck, 2014). Les composantes précoces reflètent généralement le traitement perceptuel, tandis que les composantes plus tardives indexent des processus cognitifs plus élaborés. Ci-dessous sont présentées les composantes de potentiels évoqués utilisées pour mesurer le traitement perceptuel (composante P1 dans l'étude 2) et les mécanismes de la mémoire de travail (composante P300 dans l'étude 3).

Composante P1

Mesurer le traitement perceptuel est un défi. Les études antérieures sur l'exposition au trauma et le TSPT ont principalement utilisé des mesures autorapportées rétrospectives (questionnaires; p. ex., Halligan et al., 2002; Laposa & Rector, 2012; Sündermann et al., 2013). Or, évaluer le niveau de traitement perceptuel au moment de l'encodage en mémoire d'un évènement émotionnel est nécessaire et cela ne peut être fait de façon exacte et objective avec des questionnaires. Les potentiels évoqués permettent d'atteindre cet objectif. La composante P1 peut être utilisée pour indexer le traitement perceptuel visuel

(Smith et al., 2003; Taylor, 2002). La P1 est une composante positive précoce apparaissant généralement autour de 100 ms après la présentation d'un stimulus visuel dans les régions pariéto-occipitales (Di Russo et al., 2002; Taylor, 2002). La composante P1 est générée par les neurones des aires visuelles secondaires et tertiaires du cortex visuel extrastrié (Di Russo et al., 2002). La composante P1 reflète ainsi le traitement initial de bas niveau de l'information visuelle et l'attention précoce aux caractéristiques perceptuelles des stimuli présentées (p. ex., luminosité, contraste, taille, localisation spatiale; Luck, 2014). L'amplitude de la P1 augmente en réponse à des stimuli émotionnels, en particulier lorsqu'ils sont négatifs (Olofsson et al., 2008; Raftopoulos, 2024). Une étude a montré une augmentation de l'amplitude de la composante P1 pour des images négatives liées à un film émotionnel comparées à des images neutres ou à des images négatives non reliées (Leblanc-Sirois et al., 2021). L'étude 2 de cette thèse utilise les variations de l'amplitude de la P1 sur des images reliées et non-reliées au trauma analogue comme marqueur des différences individuelles dans le niveau de traitement perceptuel.

Composante P300

Les potentiels évoqués permettent d'accéder aux processus neurocognitifs sous-jacents aux réponses comportementales. Ils peuvent ainsi aider à mieux comprendre par quels mécanismes les émotions et les intrusions influencent les performances de la mémoire de travail. Dans ce contexte, la composante P300 peut être utilisée pour indexer le niveau de charge en mémoire de travail (p. ex., Polich, 2007; Veltmeyer et al., 2009; Watter et al., 2001). La P300 est une composante positive survenant entre 250 et 500 ms

après la présentation d'un stimulus dans les régions frontales et pariétales (Polich, 2007). La P300 est une composante tardive liée à des processus cognitifs de plus haut niveau, notamment l'allocation de l'attention, la détection des stimuli pertinents et la mise à jour de la mémoire de travail (Luck, 2014 ; Polich, 2007). En fonction de la tâche et des stimuli présentés, son amplitude est influencée par plusieurs facteurs tels que la probabilité d'occurrence d'un stimulus, sa pertinence, sa signification, ainsi que le niveau d'attention et d'effort cognitif requis pour la tâche (Luck, 2014; Polich, 2007). Dans le contexte d'une tâche *n*-back, nécessitant une mise à jour continue de l'information en mémoire de travail, l'amplitude de la P300 tend à diminuer avec l'augmentation de la charge (Chen et al., 2008; Gevins & Smith, 2000; Scharinger et al., 2017). Ainsi, une diminution de la performance en mémoire de travail, par exemple en présence d'informations interférentes comme des intrusions, pourrait se traduire par une réduction de l'amplitude de la P300. L'étude 3 utilise la composante P300 pour comparer les mécanismes de mise à jour de la mémoire de travail de participants exposés à un trauma analogue et des participants contrôles exposés à un film neutre. Elle examine aussi la possibilité qu'une amplitude réduite de la P300 (indexant une charge élevée en mémoire de travail) soit liée à la fréquence des intrusions rapportées par les participants.

En somme, cette thèse apporte une avancée méthodologique innovante en combinant le paradigme de trauma analogue à des mesures EEG pour examiner de façon plus directe et précise les mécanismes sous-jacents aux conséquences de l'exposition au trauma. Cette approche expérimentale permet d'identifier des processus neurocognitifs, tels que le

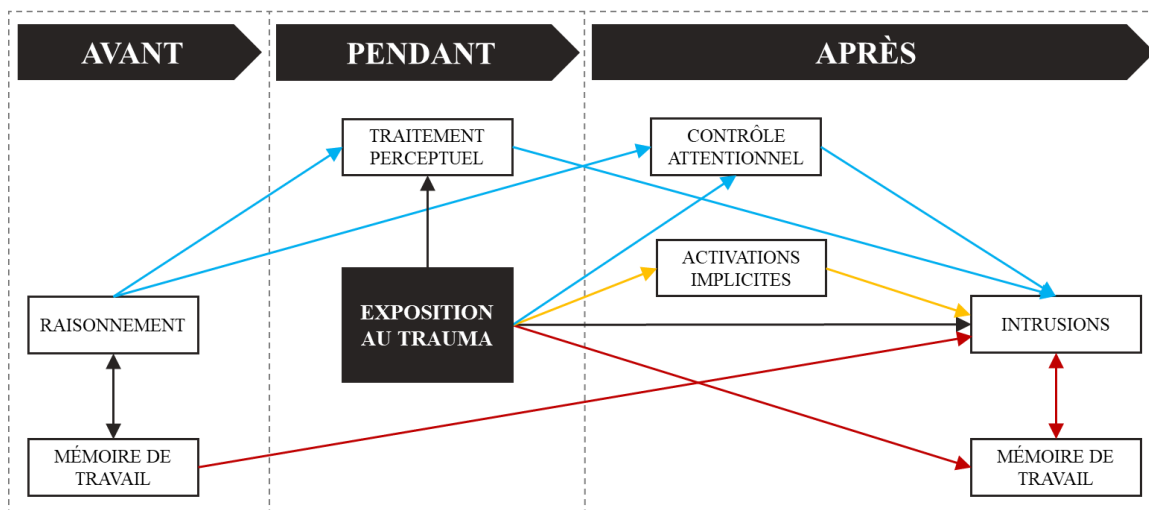
traitement perceptuel et la charge en mémoire de travail, difficilement accessibles par des mesures subjectives. Cette méthode apporte ainsi une contribution précieuse à la compréhension des interactions entre émotion et cognition après l'exposition au trauma.

Objectifs et hypothèses

En somme, de nombreuses études appuient les relations bidirectionnelles entre le fonctionnement cognitif et les réactions au trauma. Des facteurs cognitifs préexistants (capacité de raisonnement; de mémoire de travail), pendant l'évènement (processus de traitement perceptuel) et après l'évènement (contrôle attentionnel, activations implicites, mémoire de travail) semblent jouer un rôle dans les intrusions (voir Figure 1). Toutefois, les mécanismes par lesquels ces facteurs s'opèrent et interagissent demeurent mal compris. Les études antérieures présentent des limites importantes, notamment l'usage de mesures subjectives du traitement perceptuel, le manque de spécificité des stimuli lié au trauma, ainsi que l'absence de mesures des mécanismes neurocognitifs de la mémoire de travail. De plus, les intrusions sont souvent évaluées de façon générale par des questionnaires, sans lien direct avec une situation vécue. Ainsi, la littérature manque de données objectives issues d'études expérimentales en neurosciences, ciblant les processus neurocognitifs impliqués dans les interactions entre les fonctions cognitives et les réactions au trauma.

Figure 1

Schéma illustrant les hypothèses d'interactions entre les variables examinées dans les trois études (étude 1 en jaune, étude 2 en bleu, étude 3 en rouge)



L'objectif général de cette thèse est d'explorer les mécanismes sous-jacents aux interactions entre le fonctionnement cognitif et les conséquences de l'exposition au trauma. En utilisant une approche quasi expérimentale en neurosciences cognitives, cette thèse examine les corrélats neurocognitifs des liens entre raisonnement, contrôle attentionnel, mémoire de travail et les intrusions suivant l'exposition à un contenu émotionnel. La méthodologie combine le paradigme de trauma analogue à l'enregistrement électroencéphalographique (EEG). Des mesures avant et après le visionnement permettent d'examiner finement la séquence temporelle des interactions entre le fonctionnement cognitif et les réactions au trauma analogue. Les trois études de cette thèse poursuivent des objectifs spécifiques distincts, mais complémentaires, s'inscrivant dans cet objectif général (voir Figure 1).

L'étude 1 ($n = 39$) vise à valider un montage vidéo d'accidents de la route pour être utilisée en tant que paradigme de trauma analogue et une tâche de décision lexicale en tant que mesure de la mémoire implicite. Les hypothèses sont que (1) le trauma analogue induit des réactions émotionnelles négatives et des intrusions plus fréquentes, tant pendant la période immédiate de cinq minutes qu'au cours de la semaine suivante, comparativement à un film neutre; (2) ces deux mesures d'intrusions sont corrélées entre elles et avec les réactions émotionnelles; et (3) le trauma analogue entraîne une activation de concepts plus importante que le film neutre, se traduisant par des temps de réaction plus rapides pour identifier des mots liés au trauma, comparativement à des mots négatifs ou neutres non-reliés.

Les études 2 et 3 découlent d'une seule collecte de données ($n = 120$) et utilisent la vidéo validée dans l'étude 1. L'objectif de l'étude 2 est d'examiner si le niveau de traitement perceptuel et de biais attentionnel envers les stimuli liés au trauma sont des mécanismes expliquant la relation entre le raisonnement abstrait et les intrusions. Les hypothèses sont que (1) une plus faible capacité de raisonnement abstrait prédit une fréquence plus élevée d'intrusions; et (2) un traitement plus perceptuel (plus grande amplitude P1) et/ou un moins bon contrôle attentionnel (temps de réponse plus longs) en présence de stimuli visuels liés au trauma analogue jouent un rôle médiateur dans la relation entre le raisonnement et les intrusions.

L'étude 3 a pour objectif de vérifier l'impact causal de l'exposition à un trauma analogue sur la mémoire de travail, aux mécanismes neurocognitifs par lesquels cet effet se produit (mesurée par l'EEG) et au rôle des intrusions dans cet impact. Les hypothèses sont que : (1) comparé à un film neutre, l'exposition au trauma analogue entraîne une diminution de la précision, des temps de réponse et de l'amplitude de la composante P300 dans une tâche de mémoire de travail; (2) les intrusions ont un rôle médiateur dans la relation entre l'impact émotionnel du trauma analogue et la diminution de la mémoire de travail; et (3) davantage d'intrusions soient associées à une diminution de l'amplitude de la P300, suggérant qu'elles surchargent la mémoire de travail.

Article scientifique 1
Validation of a Trauma Film: Emotional Responses, Intrusive Memories
and Concept Activations

Validation of a Trauma Film: Emotional Responses, Intrusive Memories and Concept Activations

Laurence Chouinard-Gaouette^{a*} and Isabelle Blanchette^b

^a Psychology Department, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Canada

^b École de psychologie, Université Laval, Québec, Canada

* Correspondence details: Département de Psychologie, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500, Trois-Rivières, Québec, Canada, G9A 5H7.

laurence.chouinard-gaouette@uqtr.ca

Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2024). Validation of a trauma film: Emotional responses, intrusive memories and concept activations. *Cognitive Therapy and Research*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10608-024-10539-0>

Competing Interest

We have no conflict of interest to declare.

Author Contributions

Laurence Chouinard-Gaouette: Conceptualization, Methodology, Software, Formal Analysis, Investigation, Writing - Original draft

Isabelle Blanchette: Conceptualization, Supervision, Writing - Review & Editing, Funding acquisition, Project administration

Funding

This work was funded by the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada awarded to Isabelle Blanchette [grant number 435-2018-0350] and by doctoral scholarship from the Fonds de Recherche du Québec - Société et Culture awarded to Laurence Chouinard-Gaouette [number 336907].

Abstract

Background. Trauma films are often used as analogues of potentially traumatic events in experimental research to study trauma exposure under controlled conditions. However, those kinds of trauma films are rarely validated through comparison with neutral films. Also, previous trauma-analogue studies have mainly used self-report measures to assess memory of the film, which are subject to demand characteristics. The objective of this study was to validate the effects of a trauma film compared to a neutral-control film on emotional responses and intrusive memories. We also introduced a novel method of assessing implicit memory, by measuring concept activation in memory.

Methods. Twenty-two participants watched a trauma film, and 17 participants watched a neutral film. They reported their affective state and intrusions on a 5-minute period, and then over the 6 following days. The activation of concepts was tested with a lexical decision task: negative and neutral targets (words and non-words) related and unrelated to the films were presented, and participants had to judge their lexicality.

Results. The trauma film increased negative affect and elicited more frequent intrusions than the neutral film. The number of immediate intrusions was strongly correlated with those reported over 6 days. The trauma film elicited faster responses on the film-related words than the neutral film, revealing a greater activation of concepts in memory.

Conclusions. Results show that this trauma film can be an effective experimental method to induce emotional responses and intrusive memories. The lexical decision task seems to be a promising method to further investigate the role of implicit concepts activation in the consequences of trauma exposure.

Keywords: Trauma Film Paradigm, Trauma Analogue, Intrusive Memories, Intrusions, Concepts Activation, Lexical Decision Task

Introduction

The trauma film paradigm is an experimental method that involves showing a distressing film to non-clinical participants (for review see Holmes & Bourne, 2008; James et al., 2016). It is assumed that this type of film can be used as analogue to real-life potentially traumatic events. It is mainly used in the field of post-traumatic stress disorder (PTSD). After a potentially traumatic event, a significant proportion (about 7-17%) of individuals develop significant PTSD symptoms (American Psychiatric Association [APA], 2013; Schein et al., 2021). A better understanding of the factors influencing psychological reactions after a potentially traumatic event is therefore clinically important. The trauma film paradigm enables the study of trauma exposure and its psychological consequences through a controlled experimental approach. In this design, all participants undergo the same event for an identical duration, with their reactions measured in a uniform manner and after the same interval. The aim of this study was to validate a trauma film for inducing emotional responses and intrusive memories, and to explore the activation of trauma-related concepts in memory.

A trauma film includes scenes that meet the definition of trauma (Criterion A) according to the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th Edition (DSM-5): “exposure to actual or threatened death, serious injury, or sexual violence”

(APA, 2013). Previous research used different types of trauma films, including road accidents (e.g. Takarangi et al., 2014), disasters (e.g. fire; Davis & Clark, 1998), interpersonal violence (e.g. Verwoerd et al., 2009), and historical events (e.g. the Holocaust; Lepore et al., 2000). Trauma films can present a single event (e.g. Verwoerd et al., 2009) or be a compilation of different scenes (e.g. Holmes et al., 2004; Lau-Zhu et al., 2019). It is important to note that for obvious ethical reasons, the reactions induced by a trauma film are of low intensity and of short duration, occurring only in the laboratory or for a limited number of days afterwards (Stirling et al., 2023). Nevertheless, although on a smaller scale, these films have been shown to elicit physiological reactions analogous to symptoms experienced after real-life potentially traumatic events, such as changes in cortisol levels (e.g. Chou et al., 2014), heart rate and skin conductance (e.g. Arnaudova & Hagenaaars, 2017; Hagenaaars et al., 2014; Holmes et al., 2004; Schaich et al., 2013). Overall, previous studies support the usefulness of a trauma film for experimentally inducing effects similar to those observed following real-life events.

The study of intrusive memories has been the main use of the trauma film paradigm in last decades (e.g. Horowitz, 1975, for reviews see Holmes & Bourne, 2008; James et al., 2016). Intrusive memories are the hallmark symptom of PTSD (APA, 2013). These intrusive memories are described as involuntary and unintentional recall of the trauma, typically appearing as visual images, but can also manifest as sounds, smells, and physical sensations (Ehlers et al., 2004). They usually carry a range of negatively valenced emotions linked to the most distressing parts of the event (Iyadurai et al., 2019). Intrusive

memories are thought to be a normal phenomenon, which can be conceptualized on a continuum from non-clinical involuntary memories to pervasive distressing flashbacks observed in PTSD (Berntsen & Rubin, 2008). It is suggested that intrusive memories have a central role in post-traumatic symptomatology, contributing to the development of the other three symptom clusters: avoidance, negative alterations in cognitions and mood, and hyperarousal (APA, 2013; Ehlers & Clark, 2000; Brewin & Holmes, 2003; Iyadurai et al., 2019). It is therefore clinically important to study intrusive memories to better understand what may influence their occurrence and persistence.

In most trauma film studies, two methods are typically used to measure intrusions: a diary and a laboratory-based short period monitoring (James et al., 2016). With the diary method, participants are asked to record in an online or paper diary each time they experience an intrusive memory about the film, usually in the 4 to 7 days following the viewing (e.g. Chou et al., 2014; Holmes et al., 2004; Hagedaars et al., 2010; for a review: James et al., 2016). The laboratory short period monitoring consists of asking participants to report intrusive memories over a few minutes (usually 3-5 minutes long) shortly after watching the film (e.g. Davies & Clark, 1998; Grégoire et al., 2021; Horowitz, 1975; Nixon et al., 2009; for a review: James et al., 2016). For both measures, intrusive memories are typically defined as spontaneous, involuntary, non-deliberate recalls about the film (e.g. Hagedaars et al., 2010; Lau-Zhu et al., 2019; Nixon et al., 2009).

The trauma film paradigm has been shown to be effective in inducing intrusive memories, but mainly in studies in which all participants are only exposed to such a film (for review see Holmes & Bourne, 2008; James et al., 2016). Only a few studies had compared intrusions following trauma and neutral control films (Arnaudova & Hagedaars, 2017; Ferree & Cahill, 2009; Grégoire et al., 2021; Hagedaars et al., 2010; Sachschaal et al., 2019). Those few studies have generally found more frequent intrusive memories reported in a weekly diary after a trauma film compared to a neutral film (Arnaudova & Hagedaars, 2017; Ferree & Cahill, 2009; Hagedaars et al., 2010; Sachschaal et al., 2019). However, one study found no significant difference in the frequency of intrusions reported during an immediate 5-minute laboratory period between participants who watched a trauma film and those who watched a neutral control film (Grégoire et al., 2021). Thus, the literature lacks evidence as to whether intrusions of a trauma film are sufficiently different in frequency from those of a neutral film to be considered analogous to intrusions from real-life potentially traumatic events. Without comparison to a neutral film, it is difficult to determine whether these interindividual differences in the propensity for intrusions are specifically related to the negatively valenced emotional content or whether it reflects a general tendency to be distracted or to rehash information, regardless of the emotional value. The objective of this study was to validate that the trauma film actually produced more frequent intrusive memories than a neutral film on both common measurements: immediate short period monitoring and a one-week diary. We also aimed to explore the link between the two measures.

These measures of intrusive memories are self-reported and subjective, making accuracy difficult to ascertain. Previous studies have shown that participants are not always aware that they are engaged in spontaneous memories (Baird et al., 2013; Smallwood & Schooler, 2006; Takarangi et al., 2014). For example, while performing a reading comprehension task following a trauma film, participants had to self-report each time they had intrusive memories of the film (Takarangi et al., 2014). They were also intermittently asked if they were thinking about the film. These intermittent probes sometimes caught participants engaged in thoughts related to the film, without them having identified it spontaneously (Takarangi et al., 2014). These findings suggest that common self-report measures may underestimate the frequency of intrusions. Moreover, even intermittent probes are self-report responses that do not allow access to implicit memory. Thus, we need measure of implicit activation in memory that would not be influenced by compliance and demand characteristics. A lexical decision task can serve this purpose.

The Lexical decision task makes it possible to quantify the level of activation of specific concepts in memory (Meyer & Schvaneveldt, 1971). Participants are asked to judge the lexicality of words and non-words (for example ACCIDENT and ICCADENT). Reaction times are faster when the target words are part of a network of associated concepts activated in memory. For example, women exposed to interpersonal traumas showed faster reaction times to words associated with relationship-harm compared to an unexposed control group (DePrince et al., 2009). In another study, participants with PTSD

(exposed to various traumatic events) showed faster reaction times to negative (versus neutral words), compared with trauma-exposed and non-exposed controls (Vythilingam et al., 2007). Thus, the source of these priming effects is ambiguous as to whether it comes from exposure to trauma or PTSD symptoms. It is also unclear whether the effect is specific to trauma-related concepts or apply to generally negative concepts. In our study, we aimed to examine whether such concept activation can occur in nonclinical participants following a trauma film, using trauma-related and negative unrelated stimuli. This can provide a complement to self-report measures and tap the implicit memory of potentially traumatic events.

Overall, research indicates that the trauma film paradigm is a relevant experimental method for inducing physiological and behavioral responses, such as intrusive memories, analogous to those observed following real-life events, though much less intense. Two common measures of intrusions are immediate short period monitoring and a diary. However, to the best of our knowledge, only a few studies have compared intrusions following a trauma film to those evoked after a neutral film. Furthermore, it is necessary to add ways of tapping concepts activation in memory that do not depend on self-reports. The objective of this study was to compare emotional responses and the frequency of intrusions reported following a trauma and neutral film, and to explore the links between these variables. We also aimed to compare concept activation in memory after the viewing of each film. We hypothesized that the trauma film would induce negative emotional responses and more frequent intrusions both during the immediate 5-minute period and

throughout the following week compared to the neutral film. We also hypothesized that both measures of intrusions would be correlated with each other and with the emotional impact of the trauma film. We further expected that the trauma film would induce greater concept activation than the neutral film, manifesting in faster reaction times to words related to the trauma film compared to generally negative and neutral unrelated words in a lexical decision task.

Method

Participants

Forty participants, 7 men and 33 women, with a mean age of 28.7 years ($SD = 6.3$, range 19-46) participated in this online study. For the hypothesis concerning the difference between intrusions following a trauma film compared to a neutral film, two previous studies found large effect size: $d = 1.80$ (Arnaudova & Hagenars, 2017) and $d = 1.78$ (Sachscha et al., 2019). Based on these averaged effect size ($d = 1.79$), the total required sample size calculated for a two-tail test with a power of 0.80 (0.05) was 14 (G*Power 3, Faul et al., 2007). We also determined the sample size based on the expected effect of negative words compared to neutral words on reaction times in a lexical decision task. Previous studies have found moderate-to-strong effect size: $d = 0.36$ (Kousta et al., 2009), $d = 0.81$ (Siakaluk et al., 2016), $d = 1.78$ (Vythilingam et al., 2007), $d = 0.38$ (Yap & Seow, 2014; study 1), and $d = 0.59$ (Yap & Seow, 2014; study 2). Based on these averaged effect size ($d = 0.78$, converted in a $f = 0.39$), the total required sample size calculated with a power of 0.80 (0.05), two groups, and four within-subject measurements, was 28

for detecting a within-between interaction effect (G*Power 3, Faul et al., 2007). More participants than necessary were recruited to compensate for the exclusion of incorrect trials and attention check failure.

Participants were recruited from the general adult population by ads posted on social networks. Participants were required to be able to speak and read French, and not have a diagnostic of dyslexia. Participants were carefully informed of the contents of the trauma film and the risk of emotional reactions so that they could provide completely informed consent. Appropriate psychological support resources were listed in the information sheet and the researcher remained available by phone and mail during the study in case participants experienced discomfort as a result of their participation. Individuals with a score of 38 or higher on the Posttraumatic Check List (PCL-5) were excluded. This cutoff criterion corresponds to the limit proposed in the French validation of the PCL-5 (Ashbaugh et al., 2016). A score above this threshold indicates a pre-existing vulnerability that could be exacerbated by experiment stress. Because the trauma film featured scenes of road accidents, participants who reported having personally been involved, or witnessed a serious traffic accident, or reported that a loved one has been involved in such an accident, were also excluded. Having been exposed to such an event could elicit more intrusions for these participants, independently of the experimental manipulation. A financial compensation of 15 Canadian dollars was provided to participants. This study was approved by the ethics committee of the university.

Forty participants were randomly assigned by the software to either the trauma film ($n = 22$) or to the neutral control film ($n = 18$). One participant was excluded for failure to the attention check task revealing insufficient attention to the film. The data of 39 participants were included in the analyses: 22 in the trauma-film group (6 men, age $M = 27.5$, $SD = 5.6$) and 17 in the neutral-film group (1 man, age $M = 29.6$, $SD = 6.8$).

Procedure

After completion of the screening questionnaire (PCL-5) and the consent form, eligible participants were sent a link to complete the main online session. All tasks and questionnaires were designed using Qualtrics (Qualtrics software, Provo, USA). Participants first answered socio-demographic questions: age, sex, and education. They then reported their current affective state. They watched the 13-minute film (trauma or neutral film) and again report their current affective state. Participants then reported any intrusions of the film for a period of five minutes. Following this, they completed the Lexical Decision Task, followed by the emotions rating questionnaire. They then completed a recognition test to verify they actually paid attention to the film. The session ended with reporting current affective state, and instructions on how to record intrusions during the following 7 days.

Material

Post-Traumatic Check List (PCL-5)

The PCL is a self-reported 20-item scale measuring PTSD symptoms of DSM-5 that people may experience as a result of a potentially traumatic event (Weathers et al., 2013; French version: Ashbaugh et al., 2016). Intensity of each of the 20 items is measured on a five-point Likert scale ranging from *not at all* (0) to *very often* (4). Total scores range from 0 to 80. The PCL consists of four subscales that correspond to the four symptom clusters of the DSM-5: re-experiencing, avoidance, negative alterations in cognition and mood, and hyper arousal. In our sample, the PCL demonstrated good internal reliability, with Cronbach's α ranging from 0.68 and 0.84 for the four subscales and 0.91 for the total score. The PCL was only used to exclude participants with pre-existing vulnerability.

Trauma and Neutral Films

Participants watched either a trauma film or a neutral film. The trauma film is a 13:05 minute montage made from 17 short clips showing fictitious and real road accidents. It presents scenes corresponding to the characteristics described in the definition of trauma (Criterion A of the DSM-V): "exposure to actual or threatened death, serious injury, or sexual violence" (APA, 2013). Eleven of these clips are advertisements from campaigns carried out by the *Société de l'Assurance Automobile du Québec* (SAAQ) that circulated in the media in the province of Quebec between the years 2006 and 2016. These advertisements of approximately 30 seconds each were designed to raise awareness of the consequences of certain dangerous driving behaviors: speed, cell phone use, alcohol, and

tiredness. These are fictional scenes specifically designed to be emotionally shocking to the audience in order to elicit a change in behavior. The scenes show fictitious road accidents in which people are injured or dead as well as the emotional consequences for the relatives of the victims. The other 6 clips are from YouTube and show real road accidents scenes where people were seriously injured or died. We selected various short clips as they provide additional "hot spots" with more intense images compared to a single event film (e.g. Holmes et al., 2004; Lau-Zhu et al., 2019).

The neutral film is a 13:05 minute documentary from YouTube about renewable energy. It contains no emotional scenes. It presents factual information concerning a method to generate electricity used on El Hierro, a small island in the Canary Islands. The two films are available upon request to the corresponding author.

Affective State Scale

Participants assessed their affective state on a Likert scale from *very negative affective state* (1) to *very positive affective state* (9). They reported their affective state three times: before viewing the film, immediately after, and at the end of the main session (about 13-15 minutes after the end of the film). This measure enabled us to assess the emotional impact of the films.

Five-Minute Intrusive Memories

Intrusions were recorded for a 5-minute period (e.g. Horowitz, 1975; Nixon et al., 2009; for a review see: James et al., 2016). Participants were asked to fixate a cross presented on the center of the screen and to press a button each time an intrusion about the film occurred. Intrusions were described as unintended, non-deliberate, and spontaneously occurring. They were told that there was no need to make any special effort to either think about or not to think about the film but to record any involuntary memories that came to mind.

Lexical Decision Task

A lexical decision task was used to measure concept activation in memory. It consisted in presenting words and non-words (similar character strings that respect the phonotactic rules of the language, for example ACCIDENT and ICCADENT). Participants had to indicate whether or not each stimulus presented was a valid word or not. Reaction times were recorded: faster responses indicate that concepts were activated in memory. A total of 80 French words and 80 similar non-words from 4 categories were used: 20 words related to the trauma film, 20 words related to the neutral film, 20 negative words unrelated to the films and 20 neutral words unrelated to the films (see Appendix). The non-words were created by swapping two letters in each of the target words to produce 80 pronounceable similar non-words.

Each trial began with a fixation cross of 300 ms, then a target appeared and remained on the screen until a response was given. Participants were asked to indicate whether or not each target was a word by pressing a key. Instructions specified that accuracy and speed are of equal importance. After 10 practice trials including other unrelated words and non-words, participants completed 3 test blocks. In each block, the 80 words and 80 non-words were randomly presented, forming 160 trials per block. At the end of each block, participants were allowed to take a short break, before starting the next block. The full task consisted of 480 trials. Only the 240 trials presenting words were included in reaction times analyses.

The lexical decision allowed us to compare the effects of emotional valence (negative vs neutral words) and film exposure (related vs unrelated pictures) on reaction times. Specifically, it allowed to determine whether faster response times (indexing greater concept activation) is modulated by negative content, film exposure, or an interaction of these two aspects.

Emotions Rating

Participants were asked to report how much they experienced each of the following emotions while watching the film: anxiety, distress, fear, disgust, sadness, anger, and surprise. They rated each emotion on a Likert scale from *not at all* (1) to *extremely* (9). This measure allowed us to explore which emotions were most likely to be induced by the films.

Recognition Test

To verify that participants actually paid attention to the film, ten images (five from each film) were presented to all participants, and they were asked to indicate whether or not each image was taken from the film watched previously. The images were selected not to be too obviously connected to the films (e.g. did not show crashed cars or wind turbines) to prevent participants from simply guessing that they were in the film. Participants therefore had to correctly identify the five images that came from the film they had seen and not to identify the images from the film they had not seen. The total score therefore ranged from 0 to 10. The mean accuracy on this test was 9.4 ($SD = 0.7$, range 8-10) images correctly responded on the 10 images presented. One participant was excluded from all analyses due to failing the recognition test (score of 4/10). Only one of the five images from the watched film was correctly recognized, while two images from the unwatched film were incorrectly identified as recognized.

Intrusive Memories Diary

Participants were asked to record any intrusions of the film during the seven days following the experiment (e.g. Davies & Clark, 1998; Holmes et al., 2004). Intrusions were defined in the same way as for the 5-minute measure. At the end of each day, participants received a link to an online questionnaire in which they reported the content of any intrusions experienced during the day. They also had to rate the emotional intensity of each of the intrusions on a Likert scale from *very low intensity* (1) to *very high intensity* (10). For each intrusive memory, they were asked to report if it was a thought, an image

or a sensation. A sizeable proportion of intrusive memories reported by participants were unclassified, so we did not analyse these results (trauma film: 54.1%; neutral film: 25%). As in previous studies, we used the total number of intrusive memories reported during the week as the main outcome (e.g. Arnaudova & Hagenaaars, 2017; Holmes et al., 2004; Lau-Zhu et al., 2019).

Follow-Up Questionnaire

In the last questionnaire, 7 days after seeing the film, participants were asked to answer a few questions about their lifestyle during the past week. They were asked to estimate how many hours on average they slept per night, and to assess the average quality of their sleep on a Likert scale from *terrible* (1) to *excellent* (7). They were also asked to estimate how many hours they had spent on the road in the past week. Finally, they had to report if they themselves had experienced a traffic accident in the past week, if they had witnessed one, or if a loved one had been involved in one.

Statistical Analysis

Preprocessing

On the 5-minute measure of intrusions, one participant was identified as an outlier (score > 3SD from the mean). This score was changed to a score one unit greater than the next most extreme value in the distribution (Tabachnick & Fidell, 1996). Because of right skewed distributions for both measures of intrusions, we normalized these distributions using a square root-square transformation (Bartlett, 1947). All analyses were performed

on these transformed data. On the 5-minute measure, we excluded data from 4 participants who skip the task before the end of the 5 minutes. For the diary, because of a technical problem with the last online questionnaire, we do not have the number of intrusions for the seventh day. The diary thus included intrusions for 6 days. Thirty-four participants completed the online intrusion diary. The diary data of one participant who watched the trauma film were excluded due to experiencing a car accident the day after viewing.

On the lexical decision task, trials with incorrect response were excluded from analyses (average of 9 trials per participant; 3.75%). Data were cleaned in multiple stages, similar to those used in previous studies (e.g., DePrince et al., 2009; Kousta et al., 2009; Siakaluk et al., 2016). Trials with response times shorter than 200 ms and longer than 2500 ms were excluded (average of 2.6 trials per participant: 1.1%) due to concerns that these responses were likely invalid (e.g. anticipatory responses made before the stimuli were actually presented or distractions causing delays in responding). Following this, we also removed outliers at an individual level by excluding trials with response times above 2.5 SDs from the mean per block and per condition for each participant (due to concerns that these delayed responses were likely caused by distractions). According to this criterion, an average of 7.1 trials per participant (2.9%) of the trials were excluded. In the trauma-film words category, we removed all trials of the word 'heurter' (hit) for all participants because accuracy was not different from chance (55.8%). One participant was excluded from analysis due to extremely long response times (> 3 SD above the mean in all conditions).

Main Analyses

To quantify the emotional impact of the films, we conducted a 2*3 mixed ANOVA with groups (trauma vs neutral film) and time (before the film vs after the film vs at the end of the main session) with affective state score as the dependent variable. We conducted a 2*7 mixed ANOVA with groups (trauma vs neutral film) and emotions (anxiety distress, fear, disgust, sadness, anger, and surprise) with the rating score as the dependent variable. We used *t*-tests to compare the total number of intrusions reported on the 5-minutes period and in the diary between groups. We performed correlational analyses within each group to verify the link between the number of intrusions reported in the 5-minutes post-film task and the diary. We also performed correlations between the number of intrusions and the emotional impact of the film (difference in affective state before versus after viewing) for participants who watched the trauma film. To quantify concept activation elicited by the films, a 2*2*2 mixed ANOVA with groups (trauma vs neutral film), emotional valence (negative vs neutral words), and relatedness (film-related vs film-unrelated words) were used with response times as the dependent variable. We also examined correlations between reaction times for film-related words and intrusions for participants who watched the trauma film. In statistical contrasts involving ANOVAs, the Greenhouse-Geisser (GG) epsilon correction was applied to adjust the degrees of freedom of the *F*-ratios when sphericity was not met. We controlled for multiple comparison using the Bonferroni correction. We also considered homogeneity of variance by adjusting degrees of freedom and *t*-values when Levene's test was significant.

Results

Group Equivalence

As shown in Table 1, participants who watched the trauma film and the neutral film did not significantly differ on their PCL5 score, their age, or their level of education. In the follow-up questionnaire, the groups also did not differ on the number of hours slept per night, on the reported quality of their sleep, and on the number of hours spent on the road. For participants who watched the trauma film, there was no relationship between the number of intrusive memories reported in the diary and the number of hours spent on the road, $r = 0.02$, $p = 0.930$. One participant who watched the trauma film reported having been involved in a minor traffic accident (material damage) the day after the viewing. This participant reported a total of 181 intrusions during the following days (data excluded from analyses).

Table 1*Group Equivalence*

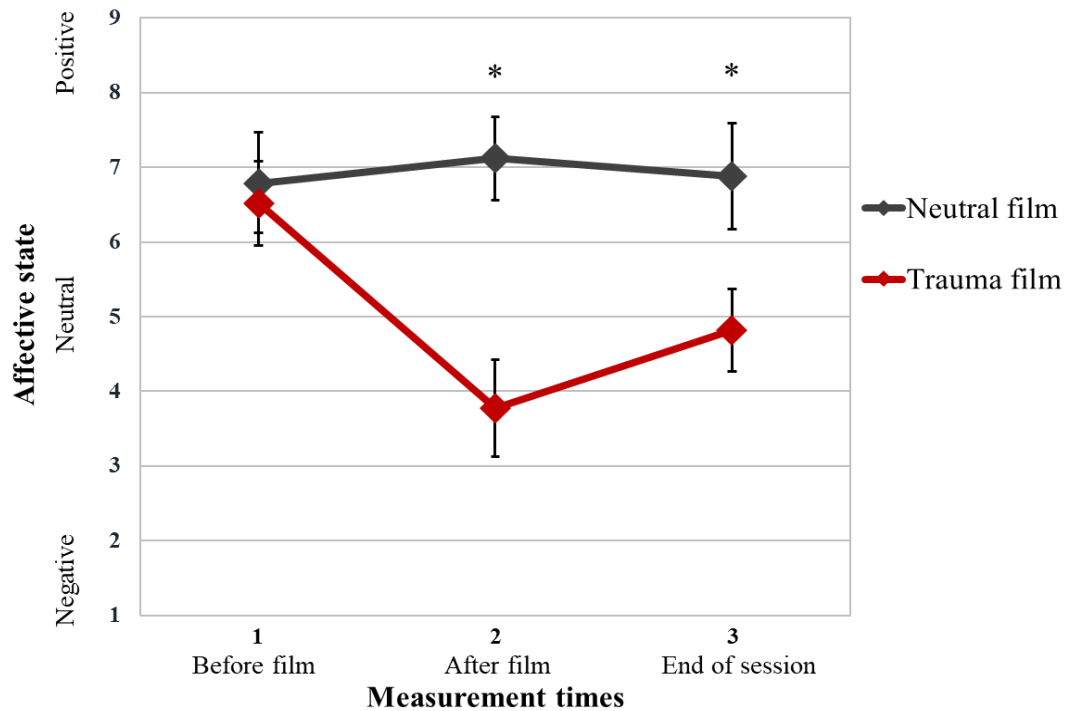
Variables	Trauma film	Neutral film	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	Mean (SD)	Mean (SD)			
PCL-5 (<i>n</i> = 39)	9.9 (10.9)	15.0 (11.3)	-1.42	0.163	-0.46
Age (<i>n</i> = 39)	27.5 (5.6)	29.6 (6.8)	-1.08	0.289	-0.35
Education (<i>n</i> = 39)	5.6 (1.0)	5.6 (1.1)	0.14	0.888	0.05
Hours of sleep (<i>n</i> = 34)	7.5 (1.1)	7.8 (0.9)	-0.93	0.360	-0.32
Quality of sleep (<i>n</i> = 34)	4.8 (1.1)	5.3 (0.9)	-1.38	0.177	-0.48
Time on the road (<i>n</i> = 34)	4.4 (3.4)	6.0 (5.6)	-1.06	0.297	-0.37

Emotional Responses to Films

There was a significant interaction between the film groups and the affective states reported during the three measurement times, $F(1.6, 56.5) = 31.36, p < 0.001, \eta^2p = 0.46$ (see Figure 1). The two groups did not differ on their affective state before watching the film $F(1, 37) = 0.49, p = 0.490, \eta^2p = 0.01$. Immediately after the film, participants who watched the trauma film reported being in a more intense negative affective state than participants who watched the neutral film, $F(1, 37) = 68.88, p < 0.001, \eta^2p = 0.65$. The affective state of participants who watched the trauma film was still significantly more negative than that of participants who watched the neutral film at the end of the session, $F(1, 37) = 27.47, p < 0.001, \eta^2p = 0.43$.

Figure 1

Average Affective State Reported by the Two Groups on the Three Measurement Times



Note. Error bars are between subject 95% confidence intervals.

Moreover, the affective state of participants who watched the trauma film changed across times, $F(2, 74) = 58.16$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.72$. They reported being in a more intense negative affective state immediately after the film compared to their initial affective state, -2.8 , $p < 0.001$. Their affective state then improved significantly during the 13 minutes between the second and third measurement times, $+1.1$, $p < 0.001$. However, the affective state they reported at the end of the session was still more negative than what they reported initially, before watching the trauma film, -1.7 , $p < 0.001$. Finally, there was no significant difference in the affective state reported between the three measurement times for participants who watched the neutral film, $F(2, 74) = 0.65$, $p = 0.524$.

Table 2*Comparison of Mean Emotions Rating Between Group (n = 39)*

Emotions	Trauma film	Neutral film	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2p
	Mean (SD)	Mean (SD)			
Anxiety	5.7 (2.2)	1.7 (1.5)	42.27	< 0.001	0.53
Distress	4.1 (2.3)	1.2 (1.0)	22.97	< 0.001	0.38
Fear	5.1 (2.4)	1.3 (0.7)	36.65	< 0.001	0.52
Disgust	5.1 (2.3)	1.2 (0.5)	45.20	< 0.001	0.55
Sadness	5.9 (2.4)	1.4 (0.9)	55.09	< 0.001	0.60
Anger	3.6 (1.9)	1.1 (0.5)	27.45	< 0.001	0.43
Surprise	3.8 (2.3)	4.2 (2.4)	0.35	0.556	0.01

Note. Emotions were rated from 1 (*not at all*) to 9 (*extremely*).

Participants who watched the trauma film experienced negative emotions more intensely than those who watched the neutral film. There was a significant interaction between the film groups and the emotions rating, $F(3.7, 137) = 12.35$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.25$. Table 2 shows the average rating of the seven emotions felt by participants of each group during the film, along with the effect sizes of mean comparisons between groups. Sadness, anxiety, disgust, and fear were the four emotions felt most intense during the trauma film.

Intrusive Memories

Table 3 shows the means, standard deviations, medians, and ranges of intrusive memories reported by each group on all measures, along with the number of participants that reported at least one intrusive memory and provided a response. Overall, intrusive

memories tended to decrease over the six days. From the second day, only a few participants reported some of them.

The trauma film (SQRT $M = 5.1$, $SD = 1.4$) elicited a statistically non-significant trend for more frequent 5-minute intrusions compared to the neutral film (SQRT $M = 4.0$, $SD = 1.7$), $t(33) = 1.94$, $p = 0.061$, $d = 0.66$. Participants who watched the trauma film (SQRT $M = 2.3$, $SD = 1.3$) reported a higher total number of intrusions over the next 6 days than participants who watched the neutral film (SQRT $M = 1.4$, $SD = 0.45$), $t(25.44) = 2.57$, $p = 0.016$, $d = 0.82$. For participants reporting at least one intrusion in the week diary ($n = 23$), the average rated emotional intensity of intrusive memories did not significantly differ between groups (trauma film: $M = 3.1$, $SD = 1.8$; neutral film: $M = 2.3$, $SD = 2.2$), $t(21) = 0.87$, $p = 0.394$, $d = 0.38$.

Table 3*Descriptive Characteristics of Intrusive Memories Between Group*

	Mean (SD)	Median	Range	$n \geq 1$ Intrusion ^a	n response ^b
Trauma film ($n = 20$)					
Total 5-minutes	26.6 (17.1)	22	10-72	$n = 20$	$n = 20$
Total 6 days	5.7 (7.7)	4	0-29	$n = 15$	$n = 20$
Day 1	3.0 (3.3)	1	0-12	$n = 14$	$n = 20$
Day 2	1.3 (2.7)	0	0-11	$n = 6$	$n = 20$
Day 3	0.6 (1.1)	0	0-3	$n = 5$	$N = 18$
Day 4	0.3 (0.6)	0	0-2	$n = 4$	$n = 20$
Day 5	0.2 (0.6)	0	0-2	$n = 2$	$n = 20$
Day 6	0.4 (1.0)	0	0-4	$n = 3$	$n = 20$
Neutral film ($n = 15$)					
Total 5-minutes	18.1 (16.5)	15	0-66	$n = 15$	$n = 15$
Total 6 days	1.3 (1.9)	1	0-6	$n = 8$	$n = 15$
Day 1	0.7 (1.2)	0	0-4	$n = 6$	$n = 15$
Day 2	0.4 (0.8)	0	0-2	$n = 3$	$n = 13$
Day 3	0.1 (0.3)	0	0-1	$n = 1$	$n = 14$
Day 4	0.0 (0.0)	0	0-0	$n = 0$	$n = 15$
Day 5	0.2 (0.6)	0	0-2	$n = 2$	$n = 15$
Day 6	0.0 (0.0)	0	0-0	$n = 0$	$n = 15$

Note. ^a Number of participants that reported at least one intrusion. ^b Number of participants that provided a response.

For participants who watched the trauma film, the number of immediate 5-minutes intrusive memories were strongly correlated with the total number of intrusions reported over the 6 following days, $r = 0.72$, $p < 0.001$. In contrast, for participants who watched the neutral film, there was no link between 5-minutes and total 6-days intrusive memories ($r = 0.12$, $p = 0.630$).

Link Between Affective State and Intrusive Memories

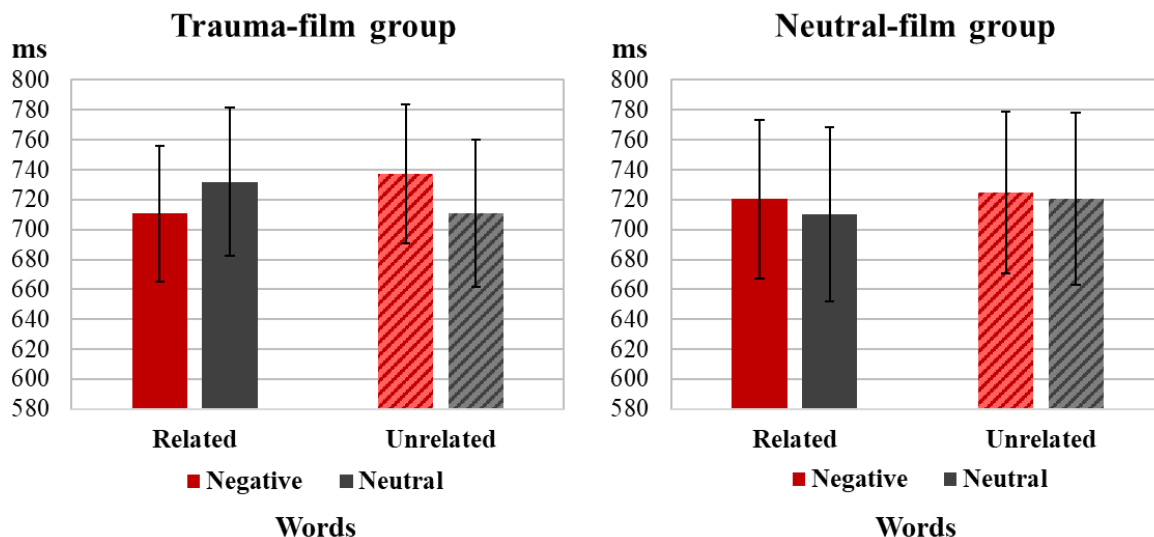
For participants who watched the trauma film, the more their affective state had increased in negative affect immediately after viewing the film (T1-T2), the higher number of intrusive memories they reported over 5 minutes, $r = 0.46$, $p = 0.039$. This correlation with 5-minute intrusions was even stronger for the increase in negative affect between T1 and T3, $r = 0.60$, $p = 0.006$. This increase in negative affect between T1 and T3 was also correlated with the total number of intrusive memories reported over the 6 following days, $r = 0.46$, $p = 0.047$.

Concept Activation in Memory

On the lexical decision task, the triple interaction emotional valence * relatedness * film groups was significant, $F(1, 36) = 6.38$, $p = 0.016$, $\eta^2p = 0.15$ (see Figure 2). For participants who watched the trauma film, words related to the trauma film elicited faster response times than words related to the neutral film, -21.1 ms, $F(1, 36) = 8.78$, $p = 0.005$, $\eta^2p = 0.20$. Their response times were also faster for negative words related to the trauma film than for generally negative words unrelated to the film, -26.3 ms, $F(1, 36) = 6.11$, $p = 0.018$, $\eta^2p = 0.15$.

Figure 2

Means of Reaction Times for the Four Categories of Words by Groups



Note. Error bars are between-Subjects 95% confidence intervals.

In contrast, for participants who watched the neutral film, there was no significant difference in response times between all types of words (related or unrelated to films, negative or neutral, $ps > 0.230$). There was also no difference in response times between group for all type words, $ps > 0.560$. Thus, only the trauma film induced concept activation in memory, manifesting in faster reaction times specifically to negative words related to the trauma film, compared to generally negative unrelated words.

Concept Activation and Intrusive Memories

For participants who watched the trauma film, there was no correlation between reaction times for words related to the trauma-film and 5-minutes intrusive memories, $r = 0.14, p = 0.551$, nor 6-days intrusive memories, $r = -0.04, p = 0.878$. The difference in

response times between words related to the trauma film and unrelated words was also not related to 5-minutes intrusive memories, $r = 0.15$, $p = 0.541$, nor 6-days intrusive memories, $r = 0.21$, $p = 0.389$.

Discussion

The aim of this study was to compare emotional responses, the frequency of intrusive memories, and concept activation in memory following trauma and neutral films. We hypothesized that the trauma film would induce negative emotional responses, more frequent intrusions, as well as greater concept activation, than the neutral film. As expected, participants who watched the trauma film experienced increased negative affect after viewing compared to those who watched the neutral film. The trauma film elicited more frequent intrusive memories during the following days than the neutral film. Immediate and diary intrusions of the trauma film were strongly correlated. Participants who watched the trauma film were faster to respond to negative words related to the trauma film than to generally negative unrelated words. In contrast, those who watched the neutral film showed no significant difference in response times between the different types of words.

Our results show that this trauma film can be an effective experimental method to induce emotional responses. It had a significant emotional impact, both compared to a neutral film and at an individual level: participants who watched the trauma film reported increased negative affective state after viewing compared to their initial affective state.

Our results are quite consistent with previous research showing significant increase in various negative emotions following a trauma film compared to a neutral film (e.g. Arnaudova & Hagedaars, 2017; Hagedaars et al., 2010). Sadness, anxiety, disgust, and fear were the emotions felt most intense during the trauma film. Emotion ratings were, on average, of low to moderate intensity, similar to findings in other trauma analogue studies. (e.g. Arnaudova & Hagedaars, 2017; Stirling et al., 2023; Weidmann et al., 2009).

The trauma film elicited a higher total number of intrusive memories during the following days than the neutral film, which replicate previous studies (Arnaudova & Hagedaars, 2017; Ferree & Cahill, 2009; Hagedaars et al., 2010; Sachschaal et al., 2019). Participant who watched the trauma film also tend to experience more frequent intrusive memories on an immediate 5-minutes period than participants who watched the neutral film (statistically non-significant trend). Taken together, these results suggest that the emotional value of the film impact the frequency of intrusions. We further found a strong association between the frequency of immediate and weekly intrusive memories following the trauma film. This finding is similar to a previous study showing that a higher number of early laboratory intrusions was linked with a higher number of diary intrusions (Lau-Zhu et al., 2019). Thus, our result provides additional support for the use of an immediate short period monitoring as a possible analogue for a week diary (Lau-Zhu et al., 2019).

Participants who felt a more pronounced increase in negative affect after the trauma film reported a higher number of intrusive memories. This association was even stronger

for the increase in negative affect between T1 and T3, showing that the more the emotional impact of the trauma film lasts over time, the more frequent intrusive memories are experienced. These results align with other studies demonstrating that the intensity of emotional responses to the film is linked to the frequency of intrusions (e.g. Hageraars et al., 2010; Herzog et al., 2022). However, diary intrusive memories of the trauma film were on average of low to moderate emotional intensity and were no more intense than those elicited by the neutral film. This low level of distress associated with intrusive memories is reassuring. For obvious ethical considerations, it is important to limit the extent of emotional reactions researchers can elicit during such experiments. Thus, in the context of the trauma film paradigm, it might be more appropriate to use the term “involuntary” memories rather than “intrusive” memories, due to the lack of associated distress. Indeed, intrusions are defined in the DSM-5 as recurrent, involuntary, and distressing memories of the traumatic event (APA, 2013). To address this issue, some have considered only intrusions associated with a certain level of distress as valid and included in their analyses (Herzog et al., 2022; Laposa & Alden, 2006; Weidmann et al., 2009).

We also investigate a novel, indirect measure of implicit memory that is less liable to compliance and demand characteristics. We measured concept activation in memory using a lexical decision task, something that can provide a useful supplement to self-report measures. Participants who watched the trauma film responded faster to film-related words than to generally negative unrelated words, unlike participants who watched the neutral film. Thus, it suggests that exposure to trauma lead to an implicit activation of

concepts related to the event. This is consistent with previous results showing that women exposed to interpersonal traumas were faster on words associated with relationship-harm (DePrince et al., 2009). On the other hand, it seems contrary with another previous study revealing a facilitation of performance for negative versus neutral words specifically in participants with PTSD, compared with trauma-exposed and non-exposed controls (Vythilingam et al., 2007). However, in this previous study, negative words were not specifically related to a traumatic event experienced by participants (Vythilingam et al., 2007). Thus, taken all together, these findings suggest that exposure to trauma can lead to the activation of concepts semantically related to the event, and that this effect is increased in PTSD by extending to other general negative concepts.

In their cognitive model of PTSD, Ehlers and Clark (2000) proposed that there is strong perceptual priming (a form of implicit memory) for stimuli linked to the traumatic event, meaning these stimuli have a reduced perceptual threshold. As a result of this reduced perceptual threshold, cues associated with trauma are more easily and quickly noticed (Ehlers & Clark, 2000). Our results seem consistent with this model by showing that concepts semantically linked to an emotional event are identified more quickly than those following a neutral event. This type of implicit priming is likely to impact thoughts and behaviors. For example, individuals with PTSD sometimes reexperience sensations or emotions as if the event was reoccurring in the present moment, but without consciously recalling the event itself (Ehlers & Clark, 2000). Additional studies are needed to further explore the role of implicit memory in post-traumatic reexperiencing symptoms.

It would also be interesting in future research to examine whether trauma-related concept activation in memory can be linked to cognitive consequences. For example, reporting being engaged in intrusive thoughts when intermittently asked, but without spontaneously reporting it, was found to be associated with poorer performance on a reading comprehension task (Takarangi et al., 2014). In contrast, there was no link between spontaneously self-reported intrusive memories and task performance (Takarangi et al., 2014). These results suggest that people can be cognitively affected by implicit activation in memory of emotional experiences without being aware of such activation. People exposed to potentially traumatic events often report cognitive problems, such as attention and working memory difficulties (for a meta-analysis see: Scott et al., 2015). An interesting avenue to explore is whether the extent of trauma-related concepts activation is a mechanism underlying these cognitive impacts.

Several limitations should be mentioned. Almost all participants were women (82%), so the results may not extend to men. The study was conducted online, which does not allow the same level of experimental and environmental control as in a laboratory. This may explain why a non-negligible proportion of participants failed to comply with the instructions on the intrusive memories measures. Nevertheless, our results are quite consistent with existing studies using the trauma film paradigm, suggesting that an online use may be valid. Several comparisons of web-based and laboratory-based experiments indicate that the results are comparable in many areas of psychological research (e.g. Birnaum, 2004; Chuey et al., 2024; Sauter et al., 2022). A montage of different clips was

used for the trauma film while the neutral film was only one clip, which could have had different effects. Another limitation is that neutral and positive emotions were not assessed, therefore, it is not possible to fully confirm that the neutral film was truly neutral or if it just evoked less intense negative emotions. Also, although not statistically significant, there was a moderate effect size difference between group on the PCL-5 measure, which may have influenced the results. Additionally, we did not consider other potential psychological symptoms such as depression or anxiety, which might have influenced the reaction of participants to the trauma film. Finally, the words used in the four conditions in the lexical decision task were not taken from a list of normed affective words (e.g. ANEW; Bradley & Lang, 1999; Warriner et al., 2013) and so were not matched for various aspects that could influence response times, such as arousal, concreteness, imageability, familiarity, or frequency (e.g. Kousta et al., 2009). This may explain why we did not replicate previous results showing faster reaction times for generally negative vs neutral words (Kousta et al., 2009; Siakaluk et al., 2016; Yap & Seow, 2014). However, these potential confounds should have influenced response times similarly in the two groups. Thus, they cannot account for the specific effects found following the viewing of the trauma film vs the neutral film. Still, it would be relevant in future studies to equate word features more carefully across conditions.

In conclusion, the trauma film paradigm is a useful experimental method to investigate the factors and mechanisms involved in how individuals react to trauma-like stimuli. Together, our findings add to the existing literature supporting the relevance of

the trauma film to induce emotional responses and intrusive memories. Nonetheless, our results also highlight caution in interpreting intrusions of a trauma film as analogous to those of a real-life traumatic event due to their limited emotional intensity. An important contribution of this work is the use of the lexical decision task as an index of trauma-related implicit memory. Indeed, the lexical decision task seems to be a promising method to further investigate the role of concepts activation in post-trauma reactions. Future studies, with larger samples, could examine the moderating effect of individual differences such as gender, stress sensitivity, and cognitive skills.

References

- American Psychiatric Association (APA). (2013). *DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Arnaudova, I., & Hagenars, M. A. (2017). Lights... action: Comparison of trauma films for use in the trauma film paradigm. *Behaviour Research and Therapy*, *93*, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.007>
- Ashbaugh, A. R., Houle-Johnson, S., Herbert, C., El-Hage, W., & Brunet, A. (2016). Psychometric validation of the English and French versions of the posttraumatic stress disorder checklist for DSM-5 (PCL-5). *PloS One*, *11*(10), Article e0161645. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161645>
- Baird, B., Smallwood, J., Fishman, D. J., Mrazek, M. D., & Schooler, J. W. (2013). Unnoticed intrusions: Dissociations of meta-consciousness in thought suppression. *Consciousness and Cognition*, *22*(3), 1003-1012. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.06.009>
- Bartlett, M. S. (1947). The use of transformations. *Biometrics*, *3*(1), 39-52. <https://doi.org/10.2307/3001536>
- Berntsen, D., & Rubin, D. C. (2008). The reappearance hypothesis revisited: Recurrent involuntary memories after traumatic events and in everyday life. *Memory & Cognition*, *36*(2), 449-460. <https://doi.org/10.3758/MC.36.2.449>
- Birnbaum, M. H. (2004). Human research and data collection via the Internet. *Annual Review of Psychology*, *55*, 803-832. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.141601>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1999). *Affective norms for English words (ANEW): Instruction manual and affective ratings*. Technical report C-1, The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida. <https://www.uvm.edu/pdodds/teaching/courses/2009-08UVM-00/docs/others/everything/bradley1999a.pdf>
- Brewin, C. R., & Holmes, E. A. (2003). Psychological theories of posttraumatic stress disorder. *Clinical Psychology Review*, *23*(3), 339-376. [https://doi.org/10.1016/s0272-7358\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/s0272-7358(03)00033-3)
- Chou, C. Y., La Marca, R., Steptoe, A., & Brewin, C. R. (2014). Biological responses to trauma and the development of intrusive memories: An analog study with the trauma film paradigm. *Biological Psychology*, *103*, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.08.002>

- Chuey, A., Boyce, V., Cao, A., & Frank, M. C. (2024). Conducting developmental research online vs. in-person: A meta-analysis. *Open Mind*, 8, 795-808. https://doi.org/10.1162/opmi_a_00147
- Davies, M. I., & Clark, D. M. (1998). Predictors of analogue post-traumatic intrusive cognitions. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy*, 26(4), 303-314. <https://doi.org/10.1017/S1352465898264022>
- DePrince, A. P., Combs, M. D., & Shanahan, M. (2009). Automatic relationship-harm associations and interpersonal trauma involving close others. *Psychology of Women Quarterly*, 33(2), 163-171. <https://doi.org/10.1111/j.1471-6402.2009.01486.x>
- Ehlers, A., & Clark, D. M. (2000). A cognitive model of posttraumatic stress disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 38(4), 319-345. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(99\)00123-0](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(99)00123-0)
- Ehlers, A., Hackmann, A., & Michael, T. (2004). Intrusive re-experiencing in post-traumatic stress disorder: Phenomenology, theory, and therapy. *Memory*, 12(4), 403-415. <https://doi.org/10.1080/09658210444000025>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Ferree, N. K., & Cahill, L. (2009). Post-event spontaneous intrusive recollections and strength of memory for emotional events in men and women. *Consciousness and Cognition*, 18(1), 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2008.11.008>
- Grégoire, L., Landry, L., Gustafsson, E., & Blanchette, I. (2021). Alteration of early attentional processing after analogue trauma exposure: Evidence from event-related potentials. *Experimental Brain Research*, 239(12), 3671-3686. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06234-1>
- Hagenaars, M. A., Brewin, C. R., van Minnen, A., Holmes, E. A., & Hoogduin, K. A. (2010). Intrusive images and intrusive thoughts as different phenomena: Two experimental studies. *Memory*, 18(1), 76-84. <https://doi.org/10.1080/09658210903476522>
- Hagenaars, M. A., Roelofs, K., & Stins, J. F. (2014). Human freezing in response to affective films. *Anxiety, Stress & Coping*, 27(1), 27-37. <https://doi.org/10.1080/10615806.2013.809420>

- Herzog, P., Barth, C., Rief, W., Brakemeier, E. L., & Kube, T. (2022). How expectations shape the formation of intrusive memories: An experimental study using the trauma film paradigm. *Cognitive Therapy and Research*, *46*(4), 809-826. <https://doi.org/10.1007/s10608-022-10290-4>
- Holmes, E. A., & Bourne, C. (2008). Inducing and modulating intrusive emotional memories: A review of the trauma film paradigm. *Acta Psychologica*, *127*(3), 553-566. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.11.002>
- Holmes, E. A., Brewin, C. R., & Hennessy, R. G. (2004). Trauma films, information processing, and intrusive memory development. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 3-22. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.3>
- Horowitz, M. J. (1975). Intrusive and repetitive thoughts after experimental stress. *Archives of General Psychiatry*, *32*(11), 1457-1463. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1975.01760290125015>
- Iyadurai, L., Visser, R. M., Lau-Zhu, A., Porcheret, K., Horsch, A., Holmes, E. A., & James, E. L. (2019). Intrusive memories of trauma: A target for research bridging cognitive science and its clinical application. *Clinical Psychology Review*, *69*, 67-82. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2018.08.005>
- James, E. L., Lau-Zhu, A., Clark, I. A., Visser, R. M., Hagedaars, M. A., & Holmes, E. A. (2016). The trauma film paradigm as an experimental psychopathology model of psychological trauma: Intrusive memories and beyond. *Clinical Psychology Review*, *47*, 106-142. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.04.010>
- Kousta, S.-T., Vinson, D. P., & Vigliocco, G. (2009). Emotion words, regardless of polarity, have a processing advantage over neutral words. *Cognition*, *112*(3), 473-481. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.06.007>
- Laposa, J. M., & Alden, L. E. (2006). An analogue study of intrusions. *Behaviour Research and Therapy*, *44*(7), 925-946. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2005.07.003>
- Lau-Zhu, A., Henson, R. N., & Holmes, E. A. (2019). Intrusive memories and voluntary memory of a trauma film: Differential effects of a cognitive interference task after encoding. *Journal of Experimental Psychology: General*, *148*(12), 2154-2180. <https://doi.org/10.1037/xge0000598>
- Lepore, S. J., Ragan, J. D., & Jones, S. (2000). Talking facilitates cognitive-emotional processes of adaptation to an acute stressor. *Journal of Personality and Social Psychology*, *78*(3), 499-508. <https://doi.org/10.1037//0022-3514.78.3.499>

- Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology*, *90*(2), 227-234. <https://doi.org/10.1037/h0031564>
- Nixon, R. D. V., Cain, N., Nehmy, T., & Seymour, M. (2009). Does post-event cognitive load undermine thought suppression and increase intrusive memories after exposure to an analogue stressor? *Memory*, *17*(3), 245-255. <https://doi.org/10.1080/09658210802592353>
- Sachschal, J., Woodward, E., Wichelmann, J. M., Haag, K., & Ehlers, A. (2019). Differential effects of poor recall and memory disjointedness on trauma symptoms. *Clinical Psychological Science*, *7*(5), 1032-1041. <https://doi.org/10.1177/2167702619847195>
- Sauter, M., Stefani, M., & Mack, W. (2022). Equal quality for online and lab data: A direct comparison from two dual-task paradigms. *Open Psychology*, *4*(1), 47-59. <https://doi.org/10.1515/psych-2022-0003>
- Schaich, A., Watkins, E. R., & Ehring, T. (2013). Can concreteness training buffer against the negative effects of rumination on PTSD? An experimental analogue study. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *44*(4), 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2013.03.006>
- Schein, J., Houle, C., Urganus, A., Cloutier, M., Patterson-Lomba, O., Wang, Y., King, S., Levinson, W., Gu erin, A., Lefebvre, P., & Davis, L. L. (2021). Prevalence of post-traumatic stress disorder in the United States: A systematic literature review. *Current Medical Research and Opinion*, *37*(12), 2151-2161. <https://doi.org/10.1080/03007995.2021.1978417>
- Scott, J. C., Matt, G. E., Wrocklage, K. M., Crnich, C., Jordan, J., Southwick, S. M., Krystal, J. H., & Schweinsburg, B. C. (2015). A quantitative meta-analysis of neurocognitive functioning in posttraumatic stress disorder. *Psychological Bulletin*, *141*(1), 105-140. <https://doi.org/10.1037/a0038039>
- Siakaluk, P. D., Newcombe, P. I., Duffels, B., Li, E., Sidhu, D. M., Yap, M. J., & Pexman, P. M. (2016). Effects of emotional experience in lexical decision. *Frontiers in Psychology*, *7*, Article 1157. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01157>
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin*, *132*(6), 946-958. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.6.946>
- Stirling, N. S., Nixon, R. D., & Takarangi, M. K. (2023). No more than discomfort: The trauma film paradigm meets definitions of minimal-risk research. *Ethics & Behavior*, *33*(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/10508422.2021.1997603>

- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (1996). *Using multivariate statistics* (3rd ed.). Harper Collins.
- Takarangi, M. K., Strange, D., & Lindsay, D. S. (2014). Self-report may underestimate trauma intrusions. *Consciousness and Cognition*, 27, 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.06.002>
- Verwoerd, J., Wessel, I., de Jong, P. J., & Nieuwenhuis, M. M. (2009). Preferential processing of visual trauma-film reminders predicts subsequent intrusive memories. *Cognition and Emotion*, 23(8), 1537-1551. <https://doi.org/10.1080/02699930802457952>
- Vythilingam, M., Blair, S., McCaffrey, D., Scaramozza, M., Jones, M., Nakic, M., Mondillo, K., Hadd, K., Bonne, O., Mitchell, D. G. V., Pine, D. S., Charney, D. S., & Blair, R. J. R. (2007). Biased emotional attention in post-traumatic stress disorder: A help as well as a hindrance? *Psychological Medicine*, 37(10), 1445-1455. <https://doi.org/10.1017/S003329170700092X>
- Warriner, A. B., Kuperman, V., & Brysbaert, M. (2013). Norms of valence, arousal, and dominance for 13,915 English lemmas. *Behavior Research Methods*, 45, 1191-1207. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0314-x>
- Weathers, F. W., Litz, B. T., Keane, T. M., Palmieri, P. A., Marx, B. P., & Schnurr, P. P. (2013). *The PTSD checklist for DSM-5 (PCL-5)*. <https://www.ptsd.va.gov/professional/assessment/adult-sr/ptsd-checklist.asp>
- Weidmann, A., Conradi, A., Gröger, K., Fehm, L., & Fydrich, T. (2009). Using stressful films to analyze risk factors for PTSD in analogue experimental studies-which film works best?. *Anxiety, Stress, & Coping*, 22(5), 549-569. <https://doi.org/10.1080/10615800802541986>
- Yap, M. J., & Seow, C. S. (2014). The influence of emotion on lexical processing: Insights from RT distributional analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(2), 526-533. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0525-x>

Appendix

Stimuli of the lexical decision task				
	Words (French)	Pseudowords	Translated	
Related to the trauma film	ACCIDENT	ICCADENT	ACCIDENT	
	AMBULANCE	UMBALANCE	AMBULANCE	
	AUTOROUTE	AUTOUROTE	HIGHWAY	
	BLESSURE	BLUSSERE	INJURY	
	BRÛLURE	BRÛLERU	BURN	
	CAMION	COMIAN	TRUCK	
	CHIRURGIE	RICHURGIE	SURGERY	
	CICATRICE	CACITRICE	SCAR	
	COLLISION	CILLOSION	COLLISION	
	FEU	EUF	FIRE	
	FUNÉRAILLE	FÉNURAILLE	FUNERAL	
	HÔPITAL	HIPÔTAL	HOSPITAL	
	MORT	TORM	DEATH	
	VÉHICULE	VIHÉCULE	VEHICLE	
	ÉCRASER	ACRÉSER	CRUSH	
	RUE	REU	STREET	
	SANG	ANGS	BLOOD	
	VICTIME	TICVIME	VICTIM	
	VOITURE	VUTOIRE	CAR	
	Related to the neutral film	NUAGE	GUANE	CLOUD
		ORDINATEUR	ORDITANEUR	COMPUTER
		CHAMP	PAMCH	FIELD
		MACHINE	CHAMINE	MACHINE
		NATUREL	NUTAREL	NATURAL
AIR		IAR	AIR	
ARBRE		ERBRA	TREE	
VENT		TENV	WIND	
BATIMENT		BITAMENT	BUILDING	
INDUSTRIE		INTUSDRIE	INDUSTRY	
MÉTHODE		MOTHÉDE	METHOD	
MONTAGNE		MANTOGNE	MOUNTAIN	
PLUIE		LUIPE	RAIN	
RÉSERVOIR		SÉRERVOIR	RESERVOIR	
EAU		AEU	WATER	
TURBINE		BURTINE	TURBINE	
ÉOLIENNE		ÉILOENNE	WIND	
BASSIN		BISSAN	TURBINE	
ÉLECTRICITÉ		ÉLICTRECITÉ	ELECTRICITY	
ÉNERGIE		ÉGERNIE	ENERGY	

	Words (French)	Pseudowords	Translated
Negative unrelated to the films	BOMBE	BEMBO	BOMB
	COMBAT	CAMBOT	FIGHT
	FUSIL	FISUL	GUN
	VIOLENCE	LIOVENCE	VIOLENCE
	PISTOLET	POSTILET	PISTOL
	ARMÉE	AMRÉE	ARMY
	AGRESSION	EGRASSION	AGGRESSION
	CANON	CONAN	CANNON
	CARABINE	RACABINE	CARBINE
	GRENADE	GRANEDE	GRENADA
	HOSTILE	HISTOLE	HOSTILE
	MENACE	MANECE	THREAT
	MEURTRE	TEURMRE	MURDER
	REVOLVER	ROVELVER	REVOLVER
	GUERRE	GEURRE	WAR
	ARME	ERMA	WEAPON
	COUTEAU	TOUCEAU	KNIFE
	EXÉCUTION	EXUCÉTION	EXECUTION
	TUEUR	RUEUT	KILLER
	CHAOS	CHOAS	CHAOS
Neutral unrelated to the films	PROGRÈS	PRÈGROS	PROGRESS
	SPHÈRE	SRÈPHE	SPHERE
	RADIO	DARIO	RADIO
	DRAPEAU	PRADEAU	FLAG
	ÉTOILE	ÉLOITE	STAR
	HUMAIN	HAIMUN	HUMAN
	PORTE	TORPE	DOOR
	HISTOIRE	HOISTIRE	HISTORY
	PLANÈTE	PLÈNATE	PLANET
	SOLEIL	SELOIL	SUN
	ASTRONAUTE	ASTROTAUNE	ASTRONAUT
	ESPACE	ASPECE	SPACE
	CIEL	LIEC	SKY
	AVION	OVIAN	AIRPLANE
	PUISSANCE	PUASSINCE	POWER
	FUSÉE	SUFÉE	ROCKET
	NAVETTE	VANETTE	SPACESHIP
	SPATIAL	STAPIAL	SPATIAL
	ASTRONOMIE	ASTRONIMOE	ASTRONOMY
	DÉCOLLAGE	CÉDOLLAGE	TAKEOFF

Article scientifique 2

An Investigation of the Mechanisms Underlying the Link Between Abstract Reasoning
and Intrusive Memories: A Trauma Analogue Study

An Investigation of the Mechanisms Underlying the Link Between Abstract Reasoning and Intrusive Memories: A Trauma Analogue Study

Laurence Chouinard-Gaouette^{a*} and Isabelle Blanchette^b

^a Département de Psychologie, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500, Trois-Rivières (Québec), Canada, G8Z 4M3. laurence.chouinard-gaouette@uqtr.ca

^b École de psychologie, Université Laval, 2325, rue des Bibliothèques, Québec (Québec), Canada, G1V 0A6. Isabelle.blanchette@psy.ulaval.ca

*Correspondence details: Département de Psychologie, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500, Trois-Rivières, Québec, Canada, G8Z 4M3
laurence.chouinard-gaouette@uqtr.ca

Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2024). An investigation of the mechanisms underlying the link between abstract reasoning and intrusive memories: A trauma analogue study. *Consciousness and Cognition, 117*, Article 103609.
<https://doi.org/10.1016/j.concog.2023.103609>

Acknowledgement

This research is supported by grant number 435-2018-0350 from the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada awarded to Isabelle Blanchette and by doctoral scholarship number 336907 from the Fonds de Recherche du Québec Société et Culture aware to Laurence Chouinard-Gaouette.

We have no conflict of interest to declare.

Abstract

Potentially traumatic events elicit intrusive memories to which some individuals are more vulnerable than others. Lower abstract reasoning capacity has been related to more intrusive memories. A more perceptual processing style when encoding the event may mediate this link. Another potential mechanism is lower attentional control, resulting in greater attentional bias toward trauma-related content. We examined both of these possibilities using a trauma-analogue paradigm. One hundred and twenty participants completed abstract reasoning tasks. Then, 90 participants watched a negative video, and 30 participants watched a neutral video. The level of perceptual processing (P1) and attentional bias (RT) towards trauma-related stimuli were measured with a pictorial Stroop task while recording EEG. Intrusive memories were recorded for 5 days. Abstract reasoning was not associated with intrusive memories. However, lower abstract reasoning tended to be associated with more perceptual processing (greater P1 amplitude) following the negative video. More perceptual processing also tended to be related to more intrusive memories for younger participants. A more pronounced attentional bias was related to more intrusive memories, but only for women. Unexpectedly, also for women, better verbal reasoning was linked to a more pronounced attentional bias. Results are compared to existing studies and future implications are discussed.

Keywords: Abstract Reasoning, Intrusive Memories, Perceptual Processing, ERP, Attentional Control, Trauma Film Paradigm

Introduction

The risk of exposure to at least one potentially traumatic event in the general population is around 70% (Benjet et al., 2016). A situation is considered potentially traumatic when it occurs in unpredictable and uncontrollable ways and involves a threat to life or physical integrity, generating intense stress and feelings of fear (American Psychiatric Association [APA], 2013). Such experiences elicit intrusive memories, defined as emotionally intense and involuntary memory recurrences related to the event (APA, 2013; Ehlers & Clark, 2000). These are the result of normal mechanisms and generally subside over time (Brewin et al., 1996). Growing research shows that pre-existing cognitive vulnerabilities are linked with the persistence of intrusive memories (e.g. Bomyea et al., 2012; Breslau et al., 2013). However, the mechanisms underlying the relationship between individual difference in cognitive functions and intrusive memories remain elusive.

Some individuals are more vulnerable to psychological consequences following a potentially traumatic event (general known risk factors include gender, age, education, psychiatric history, daily life stress and social support; Brewin et al., 2000). A growing number of studies show that individual differences in cognitive skills also play an important role (e.g. Bomyea et al., 2012; Breslau et al., 2013). Specifically, it is well established that low intelligence is a risk factor for developing psychological consequences following a potentially traumatic event (e.g., Breslau et al., 2006, 2013; Macklin et al., 1998; McNally & Shin, 1995). Pre-trauma measures of intelligence are

predictive of the number and the intensity of post-traumatic symptoms, including intrusive memories (McNally & Shin, 1995; Vasterling et al., 1997). These negative correlations are of moderate strength, even when controlling for the other well-known risk factors enumerated previously (for a review: Buckley et al., 2000). Although the link between intelligence and post-traumatic psychological consequences remains poorly understood, some results suggest that specific aspects of intelligence correlate with intrusive memories (Brewin & Beaton, 2002; Sopp et al., 2020).

Abstract reasoning accounts for a large part of the variance in measures of intelligence quotient (Wechsler, 2008). Abstract reasoning is a process related to fluid intelligence that involves manipulating concepts, rules, generalizations, and logical relationships (Cattell, 1963; Wechsler, 2008). Individual differences in abstract reasoning skills are associated with intrusive memories (Brewin & Beaton, 2002; Sopp et al., 2020). For instance, a low score on Raven's progressive matrices, which measures non-verbal abstract reasoning, is strongly correlated with more intrusions in a thought suppression task (Brewin & Beaton, 2002). Lower verbal abstract reasoning capacity has also been related to more intrusive memories of a trauma film (Sopp et al., 2020). Though there is growing evidence for a link between abstract reasoning skills and intrusive memories, the mechanism underlying this association remains elusive. Some possibilities are provided by theoretical models (Brewin et al., 1996; Ehlers & Clark, 2000).

Referring to Ehlers and Clark's (2000) cognitive model, low abstract reasoning ability might be related with less conceptual and more data-driven, perceptual processing when encoding a potentially traumatic event. Conceptual processing allows an organized encoding of the event, by placing it into its context, and assigning it meaning (Roediger, 1990). By contrast, data-driven processing is more engaged with the perceptual characteristics and sensory impressions of a situation, without broader contextualization (Roediger, 1990). While all individuals process both perceptual and conceptual elements, the extent to which each processing style is used varies between individuals. In line with this theory, studies show that lower abstract reasoning skills are linked with a less conceptual and a more data-driven, perceptual processing style, as measured by questionnaires (Halligan et al., 2002; Sündermann et al., 2013). Thus, it is plausible that individual differences in abstract reasoning skills may be related to differences in the level of conceptual vs perceptual processing when encoding a negative event.

In turn, theoretical models suggest that trauma victims who mainly process information in a perceptual way and lack of conceptual processing are more likely to suffer post-traumatic consequences (Brewin et al., 1996; Ehlers & Clark, 2000). Indeed, the degree of conceptual vs perceptual processing is an important determinant of memory encoding (Roediger, 1990). Empirical results show that a more perceptual processing style leads to more memory disorganization, which in turn contributes to the persistence of intrusive memories (Sachschaal et al., 2019). These findings are consistent with other studies revealing that a more data-driven processing style is associated with increased

intrusive memories following a laboratory trauma analogue compared to a more conceptual processing style, as measured by questionnaires (Halligan et al., 2002; Laposa & Rector, 2012; Sündermann et al., 2013). Studies exploring the consequences of distressing events support the idea that a more perceptual processing style is related to more intrusive memories, and the effects observed are generally of large magnitude (for a systematic review: Marks et al., 2018). In short, while there is empirical evidence that lower abstract reasoning skills are associated with a more perceptual processing style and that a more perceptual processing style is linked with more intrusive memories, the mediating effect of perceptual processing in the relationship between abstract reasoning and intrusive memories remains to be determined.

Measuring perceptual processing is a challenge. Existing studies have used retrospective self-report measures (e.g. Halligan et al., 2002; Laposa & Rector, 2012; Sündermann et al., 2013). Measuring the level of perceptual processing during the encoding of a potentially traumatic event is necessary but difficult. Evoked response potentials (ERPs) can serve this purpose. ERPs allow fine temporal discrimination, reflecting the moment-to-moment information processing in the brain. ERPs can be broken down into components, each reflecting the extent to which a specific type of information processing is engaged (Luck, 2014). At the earliest stage of information processing, the brain is primarily engaged in processing the perceptual characteristics of a stimulus; more elaborate, conceptual processes assigning meaning to a stimulus occur later (Taylor, 2002). In this context, the P1 component, can be used to index early visual

perceptual processing (Smith et al., 2003; Taylor, 2002). The P1 is a positive component usually peaking between 100 and 150 ms after the presentation of a visual stimulus, in occipital regions (Taylor, 2002). Specifically, the P1 component is thought to be generated by the extrastriate visual cortex (Di Russo et al., 2003). The P1 amplitude increases with emotional content, particularly negative content (for a review see: Olofsson et al., 2008). Interestingly, in a previous study in which participants were exposed to a negative video and a neutral video, we found increased P1 amplitude for negative video-related pictures compared to neutral and unrelated negative pictures (Leblanc-Sirois et al., 2021). This effect was stronger for a group primed to process information perceptually, rather than conceptually (Leblanc-Sirois et al., 2021). Thus, changes in P1 amplitude can be used as a useful online marker of inter-individual differences in the level of perceptual processing. In our study, we aimed to examine whether this index mediates the association between pre-existing individual differences in abstract reasoning and intrusive memories.

While the level of perceptual processing represents one potential mechanism to link abstract reasoning skills and post-traumatic psychological consequences, other possibilities exist. The association may result from the influence of a third variable such as the variance shared between intelligence and executive functions (Friedman et al., 2006). Notably, attentional control is a skill moderately correlated with intelligence (Chen et al., 2019). In turn, pre-existing individual difference in attention control ability is associated with the frequency of intrusive memories reported following a trauma film (Verwoerd et al., 2008, 2011; Wessel et al., 2008). It is suggested that lower attentional

control leads to a difficulty disengaging from trauma reminders which may be associated with an increased probability of triggering intrusive memories (Pineless et al., 2007; Verwoerd et al., 2009). This hypothesis is supported by empirical results showing that a lower ability to inhibit interference specifically from task-irrelevant trauma-related stimuli is moderately related with more intrusive memories reported following a trauma film (Verwoerd et al., 2009). Thus, lower attentional control, and a resulting attentional bias towards trauma reminders, represents an alternative mechanism to account for the relationship between reasoning skills and intrusive memories. In our study, we aimed to examine whether attentional bias mediates the link between abstract reasoning and intrusive memories.

The ability to control attention specifically in the presence of trauma-reminders can be measured with a pictorial emotional Stroop task that involves identifying the color of negative and neutral pictures (Bielecki et al., 2017). The difference in response times between trauma-related and neutral-unrelated stimuli reflects a failure of attentional control to inhibit the processing of task-irrelevant traumatic content to focus on color-naming task (e.g. Caparos & Blanchette, 2014; Grégoire et al., 2018; for a meta-analysis: Cisler et al., 2011). Thus, the extent to which participants are slowed down by trauma-related information reflects the level of attentional bias toward these stimuli, which can be related to both abstract reasoning capacity and intrusive memories.

Overall, research indicates that lower abstract reasoning might be related to more intrusive memories by increasing perceptual processing. The level of attentional bias may also be involved in this relationship. However, to the best of our knowledge, no study has directly examined the associations between these variables. To explore these questions, it is necessary to employ a prospective design that assesses the abstract reasoning capacity of participants before a potentially traumatic event occurs. Then, examine how inter-individual differences in this capacity predict the frequency of intrusive memories. The trauma film paradigm is a validated experimental method that involves exposing participants to an emotionally negative video (Horowitz, 1975). This procedure is known to elicit behavioral and physiological responses, such as intrusive memories, analogous to those observed following real-life potentially traumatic events, but which do not last over time (Horowitz, 1975; for a review see: James et al., 2016). It therefore provides a useful procedure to uncover the effect of pre-existing individual difference.

The main objective of this study was to examine if the level of perceptual processing and attentional bias for trauma-related stimuli mediate the relationship between abstract reasoning and intrusive memories. Although a study recently showed that lower fluid intelligence is associated with more intrusive memories following a trauma film (Sopp et al., 2020), no study has yet directly verified whether increased perceptual processing and attentional bias have a mediational role in this association. To examine this, we used the trauma film paradigm. Two groups of participants watched a video: one group watched an emotionally negative video, while the other watched a neutral video. Behavioral

(response times) and electrophysiological (P1 amplitude) measurements during a subsequent pictorial Stroop task were compared between groups to quantify attentional bias toward trauma-related contents and the level of perceptual processing, respectively. Intrusive memories were recorded over the following 5 days. We expected that lower abstract reasoning capacity would be predictive of more frequent intrusive memories following the negative video. We further hypothesized that a more perceptual processing (larger P1 amplitude) and a greater attentional bias (longer response times) for trauma-related stimuli would mediate this relationship.

Material and Methods

Participants

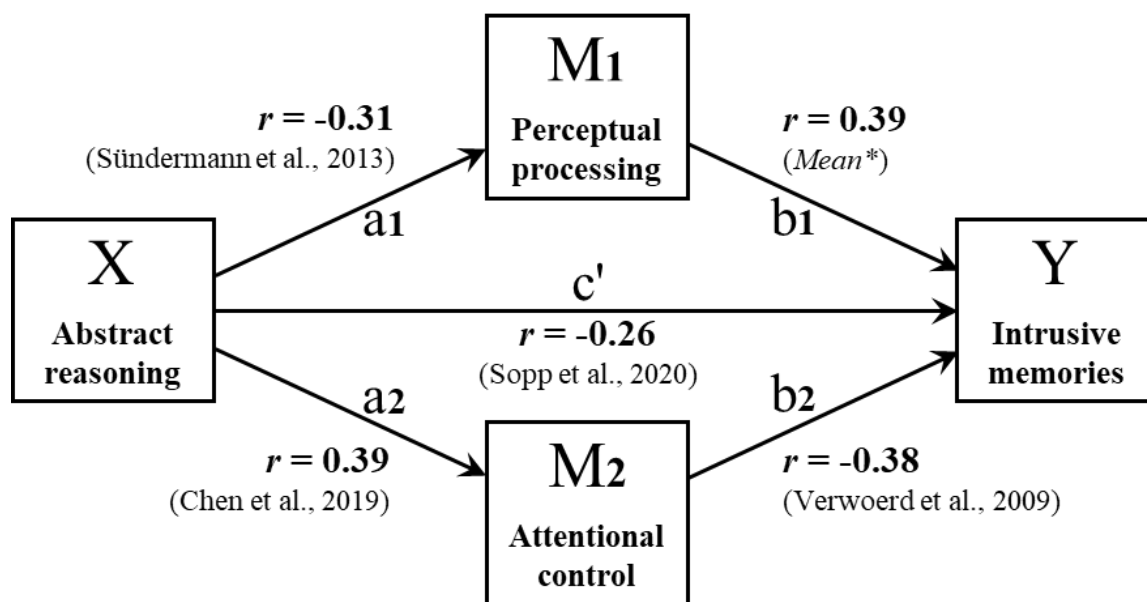
One hundred twenty participants were randomly assigned to one of two groups: a group of 90 participants watched an emotionally negative video and a control group of 30 participants watched a neutral video. More participants were needed in the negative group to test our main hypothesis of mediating effects of perceptual processing and attentional bias in the relationship between abstract reasoning and intrusive memories. To determine the sample size for the negative group, we used a Monte Carlo power analysis simulation for mediation models with the following options: a power of 0.80, a confidence interval width of 95%, 10 000 replications, a Monte Carlo draws per rep of 20 000 and a random seed of 1 234 (Schoemann et al., 2017). We entered a correlation matrix and standard deviations of the variables based on previous similar studies describe in the introduction (see Figure 1). Based on this power analysis simulation, the required sample size

calculated for the negative group is 85 for the hypothesized indirect effect of the level of perceptual processing and 65 for the hypothesized indirect effect of attentional bias.

We also determined sample size for the control group based on the expected effect of trauma-related stimuli in response times, P1 amplitude, and intrusive memories of a trauma analogue video. We corrected for multiple comparisons by adjusting p -values for 4 family tests. One study comparing response times of abuse victims to no-abuse controls in an emotional Stroop task found a large effect size (Caparos & Blanchette, 2014). Based on this effect size ($d = 0.62$, converted in a $f = 0.31$), the required total sample size calculated with a power of 0.80 (0.0125), two groups, and four measurements, is 56 for detecting a within-between interaction effect (Faul et al., 2007). For the hypothesis concerning P1 amplitude, we used the effect size we found for an interaction between emotional valence and relatedness to video pictures in a previous study (Leblanc-Sirois et al., 2021). Based on this effect size ($\eta^2_p = 0.146$, converted in a $f = 0.41$), the required total sample size calculated with a power of 0.80 (0.0125), 2 groups, and 4 measurements, is 34 for detecting a within-between interaction (Faul et al., 2007). For intrusive memories, we used the effect size we found in a validation study we conducted to test the expected effect of the videos (negative and neutral) on the frequency of intrusive memories reported in the following week (Chouinard-Gaouette & Blanchette, in preparation). Based on this effect size ($d = 0.82$), the required sample size calculated for a two-tail test with a power of 0.80 (0.0125) and an allocation ratio of 3 is 92; 69 and 23 (Faul et al., 2007). More participants than necessary were recruited to compensate for the rejection of data due to excessive EEG artefacts, incorrect trials, attention check failure, and attrition.

Figure 1

Correlations Used for Monte Carlo Power Analysis for Sample Size Calculation of a Two Parallel Mediators' Model



Note. * Mean of Sündermann et al., 2013 ($r = 0.33$); Sachschal et al., 2019 ($r = 0.37$); Laposa & Rector, 2012 ($r = 0.37$); Halligan et al., 2002 ($r = 0.49$).

One hundred and twenty-four participants aged 18 to 45 were recruited from the general population by ads posted on social networks. Participants were required to be able to speak and read French and to have normal or corrected-to-normal vision. Participants were carefully informed of the contents of the negative video and the risk of emotional reactions. Appropriate psychological support resources were listed in the information sheet and the researcher remained available after the study in case participants experience discomfort as a result of their participation. Individuals with a score of 38 or higher on the Posttraumatic Check List (PCL-5) were excluded. A score above this threshold indicates a pre-existing vulnerability that could be exacerbated by laboratory stress. Those who

reported having personally been involved, or witnessed a serious traffic accident, or a loved one who has been involved in such an accident, were also excluded because the negative video featured scenes of road accidents. Having been exposed to such an event could elicit more intrusive memories for these participants, independently of the experimental manipulation. People with a diagnosis of a neurocognitive disorder and those who take medication altering cognitive function were also excluded from the study. Financial compensation of 30 Canadian dollars were provided. This study is approved by the ethics committee of the university.

Of the 124 participants recruited, we have data for 120 due to technical problems with the recording. The 120 participants, 44 men, 75 women, and 1 other, with a mean age of 30.9 years ($SD = 8.6$, range 18-45) were randomly assigned to either the negative video ($n = 90$, 34 men, age $M = 31.2$, $SD = 8.5$) or to the neutral control video ($n = 30$, 10 men, 1 other, age $M = 29.8$, $SD = 8.9$). Eighty participants took part in the experiment in one city and 40 in another. These two samples were proportionally allocated into the negative (75%) and neutral (25%) video groups.

Materials

Posttraumatic Check List (PCL-5)

The PCL is a self-reported 20-item scale corresponding to PTSD symptoms of DSM-5 that people may experience as a result of a potentially traumatic event (Weathers et al.,

2013). Intensity of the 20 items is measured on a five-point Likert scale ranging from *not at all* to *very often*. Total score can range from 0 to 80.

Raven's Advanced Progressive Matrices

The Raven progressive matrices are a measurement of non-verbal abstract reasoning capacity (Raven et al., 1962). This task involves completing sequences of items by indicating which of the 8 choices proposed is the best matching one. To do this, participants had to find the rule that unites items in order to predict the next item of the sequence. The sequences gradually increase in difficulty. A validated short form of 12 matrices (Bors & Strokes, 1998) of Raven's advanced progressive matrices were used (Raven et al., 1962). This short form is strongly correlated (0.92) with the original full-length version (Bors & Strokes, 1998). Participants had to complete each of the 12 matrices in a maximum of 30 seconds. Total score ranges from 0 to 12.

WAIS Subtest Similarities

The Similarities subtest is designed to measure verbal concept formation and abstract reasoning (Wechsler, 2008). Two words were presented on the screen and participants indicated in writing how they were similar. For example, how are winter and summer similar? These are seasons. The proposed similarities are quite obvious at first and become more complex as the task progresses. All 18 items are scored as 0, 1 or 2 points, depending on the precision and the level of abstraction of the answer given. Total score ranges from 0 to 36.

Baseline Video

A neutral 2-minute video showing scenes of seascapes accompanied by soft melody was presented to stabilize participants' mood at the beginning the experiment.

Experimental Videos

Participants watched either a negative video or a neutral video. The negative video is a 13:05 minute montage made from 17 short clips showing fictitious and real road accidents where people were seriously injured or died. The neutral video is a 13:05 minute documentary concerning a method to generate electricity.

Emotional State Scale

Participants assessed their emotional state on a Likert scale from *very negative emotional state* (1) to *very positive emotional state* (9). This measure allowed us to verify that the average emotional state of two groups was equivalent at the start. It also enabled us to assess the emotional impact of the negative video.

Recognition Test

To verify that participants actually paid attention to the video, ten pictures (five from each video) were presented, and they were asked to indicate whether or not they were taken from the video watched previously. Unfortunately, due to a programming error we do not have responses on this task. However, the results of an online study using these two videos with this recognition test revealed a mean accuracy of 4.3 pictures correctly

recognized (Chouinard-Gaouette & Blanchette, in preparation). Only one of the forty participants (2.5%) was excluded due to failure of this recognition test, as he recognized only one of the five pictures. Thus, we can assume that the same task done in the laboratory would probably have a better accuracy rate. These pictures were not presented in the following pictorial Stroop task.

Pictorial Stroop Task

The pictorial Stroop task is an adapted emotional Stroop task using pictures instead of words, which were used to measure both the level of perceptual processing and attentional bias for trauma-related stimuli. A greyscale picture was presented followed immediately by a colored rectangle (red, blue, green, or yellow) completely covering the picture. Participants indicated its color by pressing a key (Bielecki et al., 2017). Instructions specified that accuracy and speed were of equal importance. A total of 120 pictures of 4 categories were used: 30 negative pictures from the road accident video, 30 neutral pictures from the electricity production video, 30 negative pictures unrelated to the videos and 30 neutral pictures unrelated to the videos. Pictures unrelated to the videos were taken from the International Affective Picture System (IAPS; Lang et al., 1999).

Each category of pictures was balanced in terms of presence of people, 15 pictures per category feature people, others feature landscapes or objects. The pictures within each 4 categories featured different themes. For example, the pictures related to the negative video featured different scenes such as people talking together, someone driving a

motorcycle, someone at the hospital, police officers at a door, and a crashed car. The same is true for the neutral video, and for the negative and neutral pictures from the IAPS. Thus, the pictures related to the videos are not thematically related independently of the video. To ensure that the pictures taken from the videos were similar to those taken from the IAPS, 6 independent judges rated the emotional valence of the 120 pictures on a Likert scale from *very negative* (1) to *very positive* (9). The results confirmed that the negative-video pictures ($M = 2.90$, $SD = 0.77$) are no more aversive than the negative-IAPS pictures ($M = 2.30$, $SD = 0.50$). The results also showed that the neutral-video pictures ($M = 5.15$, $SD = 0.40$) are similar to the neutral-IAPS pictures ($M = 5.25$, $SD = 0.18$). Moreover, both negative pictures were rated more negatively than both neutral pictures.

Each trial began with a fixation cross ranging randomly in duration from 900 to 1100 ms, then a picture appeared for 600 ms, followed by a colorful rectangle completely covering the picture and remaining on screen until a response was given or 2000 ms (Bielecki et al., 2017). After 32 practice trials including other unrelated pictures, participants completed 4 test blocks. In each block, the 30 pictures of a single category were randomly presented, each appearing 4 times followed once by each of the 4 colors (red, blue, green, or yellow), forming 120 trials per block (Phaf & Khan, 2007). The order of blocks was counterbalanced across participants. At the end of each block, participants were allowed to take a short break, before starting the next block. The full task consisted of 480 trials.

Differences in response time between negative and neutral trials reflect a difficulty in inhibiting the processing of generally negative emotional content. The ability to inhibit task-irrelevant trauma-related information processing is more specifically indexed by differences in response time between negative-video pictures and negative-unrelated pictures. This difference should be greater in the group who watched the negative video, indicating an attentional bias towards trauma-related contents.

This task also allowed us to compare the effects of emotional valence (negative vs neutral pictures) and video exposure (related vs unrelated pictures) on P1 amplitude components. Specifically, ERP analyses allowed us to determine whether P1 amplitude (indexing perceptual processing) is modulated by negative content, video exposure, or an interaction of these two aspects.

Electroencephalography (EEG)

EEG signals were acquired continuously from 64 active Ag/AgCl electrodes positioned according to the 10/20 system using a Brainvision ActiCHamp system (Brain Products, Germany). The resolution of analogue-to-digital conversion was 24 bits. The signal was synchronized across two ActiCHamp digital amplifiers, using PyCorder software for 80 participants and Brainvision Recorder software for 40 participants. The reference was recorded at the average of the two earlobes. The ground was placed at Fpz. Horizontal electrooculogram (HEOG) was recorded from electrodes placed about 1 cm from the outer canthi of each eye. Vertical electrooculogram (VEOG) was recorded from

electrodes positioned above and below the right eye. Electrode impedances were kept below 25 k Ω . Signal was band-pass filtered at 0.01 Hz to 100 Hz and sampled at 500 Hz.

The EEG signal was analyzed with Brainstorm (Tadel et al., 2011). A 0.1 Hz to 30 Hz second order band-pass filter was applied to all channels. The signal was corrected for ocular artefacts with independent component analysis, then was segmented from -100 to 400 ms around the presentation of each picture. A baseline correction from -100 to 0 ms was applied and an artefact correction procedure was run to remove trials with deviations greater than 100 μ v within an interval length of 200 ms on any channel (7.54% of trials). Mean amplitude in the P1 time window (100-140 ms) was extracted from regions of interest (ROIs) defined by groups of 6 electrodes on the occipital position: O1, O2, PO3, PO4, PO7, PO8. These time window and electrodes were selected based on inspection of the grand average waveform to identify the most positive peak observed on the sites. Data were averaged separately according to the type of pictures (negative or neutral, related or unrelated to videos) for each participant and compared across groups (negative or neutral video).

Intrusive Memory Diary

Participants were asked to record any intrusive memories of the video during the 5 days following the experiment (e.g. Davies & Clark, 1998; Holmes et al., 2004). Intrusive memories were defined as a thought, a mental image, or a sensation about the video that occurs without any special effort to remember it. At the end of each day, they received a

link to an online questionnaire in which they reported the content of any intrusive memory experienced during the day. They also had to rate the emotional intensity of each of the intrusions on a Likert scale from *very low intensity* (1) to *very high intensity* (10).

Procedure

Upon receipt of the signed consent and completed screening questionnaire (PCL-5), eligible participants were sent a link to complete a first session. Tasks were designed using Qualtrics (Qualtrics software, Provo, USA). Participants completed two abstract reasoning tasks: the Raven advanced progressive matrices and the WAIS Similarities subtest. The second session took place at the electrophysiology laboratory of the university at least one week after the online session. The tasks were presented using the E-Prime 3.0 software (Psychology Software Tools, Inc. Pittsburgh, USA). The electrophysiological recording material was installed. Participants were first invited to relax by watching a quiet 2-minute video. They then reported their current emotional state. Following this, they watched the 13-minute experimental video (negative or neutral) and again reported their current emotional state. They completed a recognition test to ensure they actually paid attention to the video. They then performed the pictorial Stroop task. The session ended with reporting current emotional state and a debriefing about the negative content of the study. Emotional regulation strategies were proposed if necessary. Finally, they were instructed on how to record intrusive memories in the following 5 days.

This study was part of a broader data collection project involving additional separate theoretical questions reported in a second study (Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2021). The aim of this other study was to verify the causal impact of a recent negative event on working memory. Participants completed a *n*-back task, first in the online session following the reasoning tasks. In the second session, immediately after watching the video, they reported intrusive memories of the video for a period of five minutes. They then completed another *n*-back task, followed by the Intrusions subscale of IES questionnaire. The specific hypotheses for that separate study were that performance on the *n*-back task would be lower for the group watching the negative video and that the number of intrusive memories as well as the score on the IES Intrusions subscale would be negatively related with *n*-back performance.

Statistical Analyses

Preprocessing

On the intrusive memory diary measure, one participant was identified as an outlier (score > 3SD from the mean). This score (25) was changed to a score one unit greater than the next most extreme value (15 + 1) in the distribution (Tabachnick & Fidell, 1996). Because of right skewed distributions for intrusive memories (1.65), we normalized the distribution (0.81) using a square root transformation (Bartlett, 1947). All analyzes included these transformed data.

For response times analyses on the pictorial Stroop task, all incorrect trials and correct trials with response times shorter than 300 ms or longer than 2000 ms were excluded (4.45% of trials). We also excluded trials longer than 3 SDs above the participant's block mean (1.52% of trials; Bielecki et al., 2017). One participant was excluded due to insufficient accuracy rate (< 20% of correct response). Data of one participant are missing due to a technical problem with the recording. Response times analyses thus included 118 participants, 89 in the negative-video group and 29 in the neutral-video group.

For ERP analyses, six participants were excluded due to excessive noise (> 30% of rejected trials). ERP analyses included data for 114 participants, 87 in the negative video group and 27 in the neutral video group.

Between-Group Analyses

The following between-group analyses were performed to ensure that the expected effect of a negative video on the emotional state, on the level of perceptual processing, on attentional bias, and on the frequency of intrusive memories could specifically be related to its negative content, not only to the fact of having watched a video. *t*-Tests were used to compare the emotional state reported and the number of intrusive memories between groups. To quantify the level of perceptual processing caused specifically by a recent exposure to a trauma analogue, a 2x2x2 mixed ANOVA with video (negative vs neutral), emotional valence (negative vs neutral pictures), and relatedness (pictures related vs unrelated to videos) was used with P1 amplitude as the dependent variable. Video was a

between-subject variable. Emotional valence and relatedness were entered as within-subject variables. To quantify attentional bias, the same 2x2x2 mixed ANOVA was used with response times as the dependent variable. We controlled for multiple comparisons using the Holm-Bonferroni sequential method to adjust p -values according to the 4 family tests that were performed. While correcting alpha inflation, we considered variable dependence using the Simple Interactive Statistical Analysis program (Uitenbroek, 1997) to account for the correlations between the variables (García, 2004).

Main Analyses

All subsequent analyses were performed only for participants who have watched the negative video ($n = 90$). We used P1 amplitude difference between trauma-related and neutral pictures to index the level of perceptual processing and response time difference between trauma-related and neutral pictures to reflect attentional bias. We first examined correlations to quantify the relationships between abstract reasoning scores, the emotional state (difference between after and before the video), attentional bias, the level of perceptual processing, and the number of intrusive memories. If abstract reasoning had been significantly related to intrusive memories, a mediation analysis (Process Procedure for SPSS: Hayes, 2017) would have been used to examine our hypothesis that the level of perceptual processing and attentional bias mediate this relationship. Abstract reasoning score would have been the predictor, and the number of intrusive memories the outcome. The level of perceptual processing and attentional bias would have been entered as parallel mediators (as illustrate on Figure 1 above). The significance of direct and indirect effects

would have been estimated using bias-corrected bootstrap confidence interval (CI 95%) based on 2000 samples. The significance of the indirect effects would have been assessed using the Sobel test.

Exploratory Analyses

All following analyses were performed only for participants who watched the negative video ($n = 90$). To explore possible effects of demographic characteristics, we examined correlations of the main dependent variables with age and level of education. We also considered gender using t -tests.

Results

Group Equivalence

The negative and neutral video groups did not differ on age, $t(118) = 0.79, p = 0.427, d = 0.17$, education, $t(118) = 0.86, p = 0.393, d = 0.18$, PCL5 score, $t(118) = 0.03, p = 0.978, d = 0.01$, Raven's progressive matrices, $t(118) = -1.61, p = 0.111, d = -0.34$, and Similarities subtest, $t(118) = -0.60, p = 0.551, d = -0.13$. Thus, participants in both groups had comparable levels of education, posttraumatic symptoms, as well as non-verbal and verbal reasoning abilities.

Between-Group Results

Emotional State and Intrusive Memories

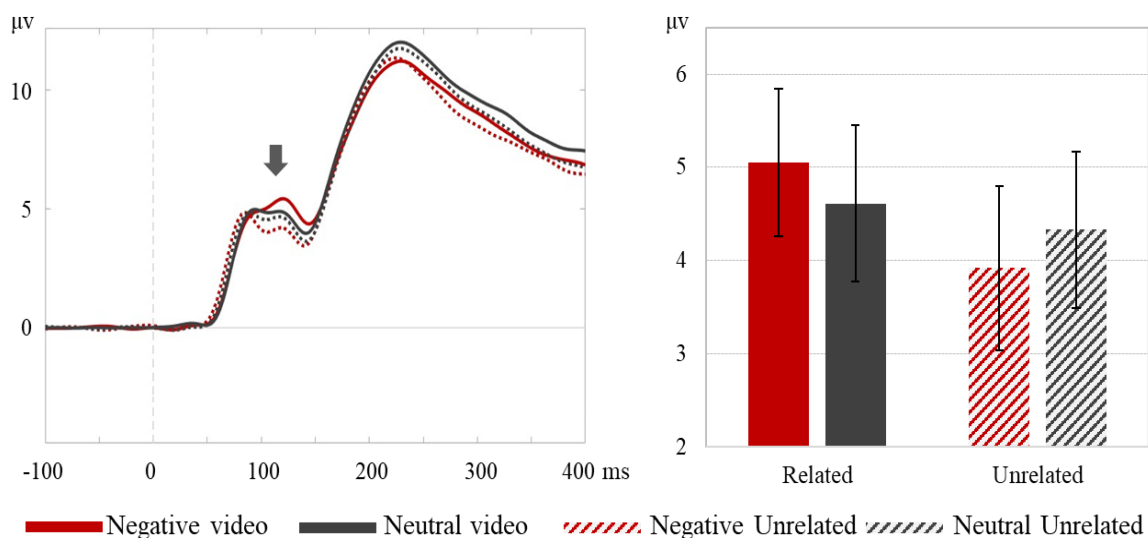
After viewing, the negative-video group reported being in a more negative emotional state ($M = 3.46$, $SD = 1.5$) than the neutral-video group ($M = 7.03$, $SD = 1.27$), $t(118) = -11.72$, $p < 0.001$, $d = -2.47$. Participants in the negative-video group also reported more intrusive memories over the next 5 days (SQRT: $M = 1.92$, $SD = 0.85$) than the neutral-video group (SQRT: $M = 1.4$, $SD = 0.51$), $t(118) = 4.08$, $p < 0.001$, $d = 0.68$.

Perceptual Processing

During the pictorial Stroop task, P1 amplitude was greater for pictures related to the videos than for unrelated pictures, $F(1, 112) = 55.14$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.33$. P1 amplitude did not differ between negative and neutral pictures, $F(1, 112) = 0.02$, $p = 0.876$, $\eta^2p < 0.01$. There was a significant interaction between emotional valence and relatedness, $F(1, 112) = 19.09$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.15$ (see Figure 2). For pictures related to the videos, P1 amplitude was greater for pictures related to the negative video than the neutral video, $+0.44 \mu\text{v}$, $F(1, 112) = 9.7$, $p = 0.002$, $\eta^2p = 0.08$. In contrast, for pictures unrelated to the videos, P1 amplitude was smaller for negative than neutral pictures, $-0.41 \mu\text{v}$, $F(1, 112) = 8.9$, $p = 0.004$, $\eta^2p = 0.07$. There was no significant interaction between emotional valence and video groups, $F(1, 112) = 2.13$, $p = 0.147$, $\eta^2p = 0.02$, nor between relatedness and video group, $F(1, 112) = 0.03$, $p = 0.854$, $\eta^2p < 0.01$. The triple interaction between emotional valence, relatedness and video group was also not significant, $F(1, 112) = 0.54$, $p = 0.463$, $\eta^2p < 0.01$.

Figure 2

Left: Variation of ERP waveform and P1 amplitude during picture presentation according to emotional valence and relatedness to the negative or neutral video. Right: Means for P1 amplitude (100-140ms) in all four conditions for all participants (n = 114)



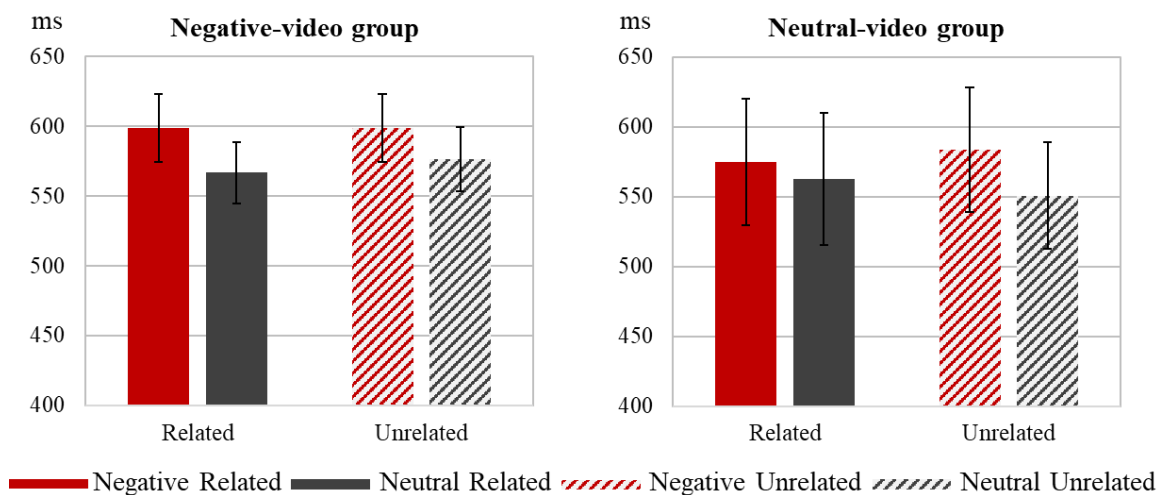
Note. Error bars are within subject 95% confidence intervals.

Attentional Bias

On the pictorial Stroop task, response times were slower following negative than neutral pictures, +24.87ms, $F(1, 116) = 21.32$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.16$. No other effects or interactions were significant. However, the triple interaction between emotional valence, relatedness and video group was almost significant, $F(1, 116) = 2.82$, $p = 0.096$, $\eta^2p = 0.03$ (see Figure 3). Because this was expected based on a priori hypotheses, we further decomposed this by looking at the patterns of response times separately in the two groups.

Figure 3

Means of Response Times for Negative and Neutral Pictures, Related and Unrelated to the Videos, by Groups



Note. Error bars are within subject 95% confidence intervals.

In the negative-video group, pictures related to the negative video elicited slower response times than pictures related to the neutral video, +32.01 ms, $F(1, 116) = 17.84$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.13$. For pictures unrelated to the videos, negative pictures also elicited slower response times than neutral pictures, +21.79 ms, $F(1, 116) = 12.57$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.09$. In contrast, in the neutral video group, there were no significant differences between response times following negative and neutral video-related pictures, $F(1, 116) = 0.88$, $p = 0.351$, $\eta^2p < 0.01$. For pictures unrelated to the videos, negative pictures elicited slower response times than neutral pictures, +32.83 ms, $F(1, 116) = 8.93$, $p = 0.003$, $\eta^2p = 0.07$. Thus, participants in both groups tended to show a general attentional bias toward negative pictures. However, only participants who watched the

negative video showed an attentional bias toward negative pictures related to negative video.

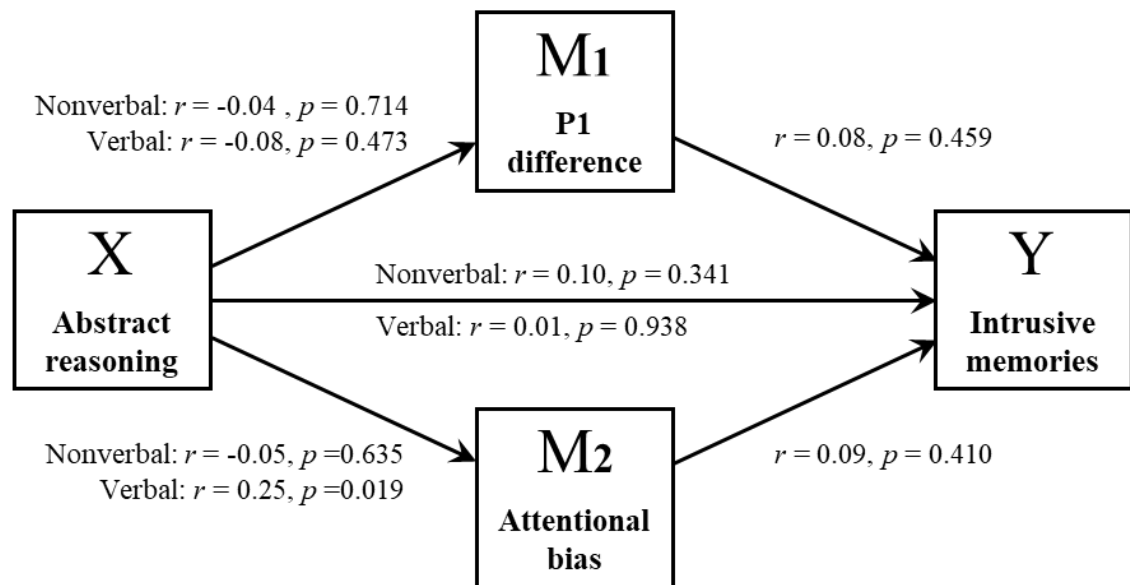
Correlations

We performed correlations within the negative-video group to quantify the relationships between abstract reasoning, the emotional impact of the video, attentional bias, the level of perceptual processing, and the number of intrusive memories (see Figure 4).

The more negative participants' emotional state became after viewing the negative video (T2 - T1), the more they reported intrusive memories, $r = -0.22$, $p = 0.038$. Unexpectedly, better verbal reasoning skills were associated with slower response on pictures related to the negative video compared to neutral unrelated pictures (more pronounced attentional bias), $r = 0.25$, $p = 0.019$. Since abstract reasoning (non-verbal and verbal) was not related to the frequency of intrusive memories, we did not perform the mediation analysis.

Figure 4

Correlations Between Variables in the Expected Model of Abstract Reasoning as a Predictor of Intrusive Memories Mediated by Perceptual Processing and Attentional Control



Note. P1 difference = Difference in P1 amplitude: pictures related to the negative video vs unrelated neutral pictures. Attentional bias = Response times difference: pictures related to the negative video vs unrelated neutral pictures.

Exploratory Analyses

Demographic Characteristics

Looking at the entire sample ($n = 113$), there was no correlation between the level of education and any of the dependent variables, $p > 0.05$. There was no association between age and verbal reasoning ($r = 0.13, p = 0.162$) nor average reaction times on the pictorial Stroop task ($r = 0.13, p = 0.147$). However, age was negatively correlated with non-verbal reasoning ($r = -0.19, p = 0.040$) and with average P1 amplitude ($r = -0.56, p < 0.001$).

There was no significant difference between men and women for reasoning scores, average reaction times, nor average P1 amplitude, $p > 0.05$.

For participants of the negative-video group, the level of education was not correlated with emotional state or intrusive memories, $p > 0.05$. There was no relation between age and emotional state reported following viewing, $r = -0.12$, $p = 0.265$. However, age was positively correlated with the number of intrusive memories, $r = 0.21$, $p = 0.049$. Women reported being in a more negative emotional state following the negative video than men, $t(88) = 3.19$, $p = 0.002$, $d = 0.70$. Women also reported significantly more intrusive memories over the following 5 days than men, $t(88) = 3.91$, $p < 0.001$, $d = 0.85$.

Age Differences in Perceptual Processing

Since there were age-dependent differences in non-verbal reasoning, evoked potentials and intrusive memories, we examined the link between these variables (within the negative-video group) using partial correlations controlling for age. Lower non-verbal reasoning was correlated with a greater P1 amplitude on pictures related to the negative video, $r = -0.22$, $p = 0.044$ (adjusted p value 0.018). The same general link tended to be observed for other types of pictures, but there was not a significant correlation between non-verbal reasoning and P1 for unrelated negative pictures ($r = -0.18$, $p = 0.099$), neutral-related pictures ($r = -0.18$, $p = 0.099$), and neutral unrelated pictures ($r = -0.20$, $p = 0.064$). Thus, when controlling for age, we see a general trend for a link between non-verbal reasoning and perceptual processing (average for all types of pictures: $r = -0.20$,

$p = 0.065$). This link between reasoning and P1 amplitude was not specific to the difference between negative and neutral pictures, $r = -0.02$, $p = 0.869$. However it was specific to participants who watched the negative video: there was not such associations within the neutral-video group, $r = 0.12$, $p = 0.574$. This suggests that the association between non-verbal reasoning and perceptual processing is observed specifically following a negative emotional event, and not a general tendency.

To further explore age-dependent results, we examined correlations separately for participants younger and older than the median age (31 years old) in the negative-video group. For younger participants, a larger P1 amplitude tended to correlate with more intrusive memories. As shown in Table 1, this effect was not specific to pictures related to the negative video but extended to all types of pictures. In contrast, for participants aged 32 to 45 years old, there was no significant relation between average P1 amplitude and intrusive memories ($p > 0.10$). To examine whether the relations we found with P1 amplitude is specific to perceptual processing and not a general link with EEG amplitude, we performed the same analyses using the same time window (100-140 ms) but on temporal sites (T7, T8, TP7, and TP8). Average amplitude at the temporal electrodes did not correlate with intrusive memories ($r = 0.02$, $p = 0.892$, $n = 46$, aged 18-31), nor with non-verbal reasoning ($r = -0.07$, $p = 0.497$, $n = 86$, controlling for age). This supports the idea that effects we identified are specific to the P1, indexing the level of perceptual processing of visual stimuli.

Table 1*P1 Amplitude and Intrusive Memories (18-31 years old, n = 46)*

	Negative video	Negative unrelated	Neutral video	Neutral unrelated	Average
Intrusive memories	0.31 [†]	0.31 [†]	0.29 ^{††}	0.30 [†]	0.31 [†]

Note. [†] $p < 0.05$ (adjusted p value 0.018). ^{††} $p = 0.052$.

Gender Difference in Attentional Bias

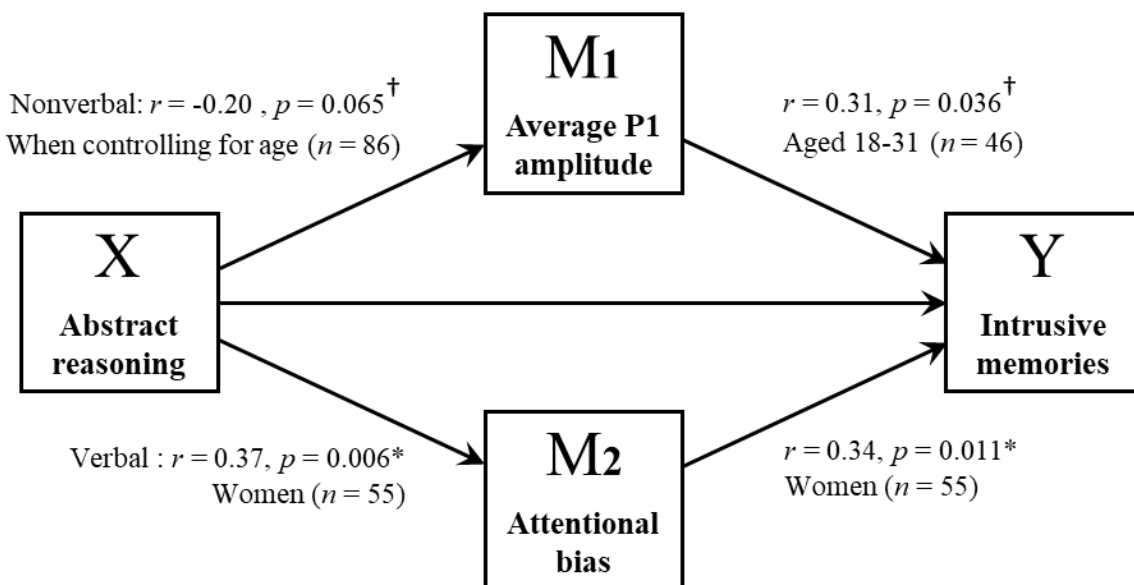
As women reported more intrusive memories, we explored correlations separately for men and women, again for participants who watched the negative video. For women ($n = 55$), greater attentional bias (RT to negative-related pictures - RT to unrelated neutral pictures) was correlated with more intrusive memories, $r = 0.34$, $p = 0.011$ (adjusted p value 0.018). Better verbal abstract reasoning was associated with greater attentional bias, $r = 0.37$, $p = 0.006$ (adjusted p value 0.018). There were not such associations among men ($n = 34$), $p > 0.10$.

Summary of Exploratory Findings

As summarized in Figure 5, we found results partially supporting some of our planned hypotheses. We also found an unexpected result: better verbal abstract reasoning was associated with greater attentional bias, but only for women. The result of a power analysis revealed a lack of power (0.63) for the correlation between P1 amplitude and intrusive memories. Based on our effect size (0.31), an *a posteriori* sample size calculation revealed that it would have taken 103 participants (aged 18 to 31) to find a significant correlation (adjusted $p = 0.018$) with a power of 0.80.

Figure 5

Summary of Exploratory Correlations Between Main Variables



Note. *Holm-Bonferroni adjusted p value = 0.018.

Discussion

The main aim of this study was to explore if the level of perceptual processing and attentional bias for trauma-related stimuli mediate the relationship between abstract reasoning and intrusive memories using a trauma analog paradigm. We had hypothesized that lower abstract reasoning would predict more frequent intrusive memories. We further expected that perceptual processing and attentional bias would mediate this relationship. Overall, though our hypotheses were not entirely confirmed, we found some evidence supporting links between these different variables. Notably, lower non-verbal reasoning tended to be associated with more perceptual processing, increased perceptual processing

tended to be linked with more frequent intrusive memories, and there was a significant relation between attentional bias and intrusive memories among women.

First, lower non-verbal reasoning skills tended to be associated with more perceptual processing, as indexed by the amplitude of the P1. We found this in analyses controlling for age. This effect was not specific to pictures related to the negative video, but it was specific to participants who watched the negative video. This suggests that lower non-verbal reasoning might be associated with a general increase in perceptual processing following a negative event, but for all types of stimuli. More generally, this suggests that individual differences in abstract reasoning skills influence how the brain processes and encodes information specifically during an emotionally negative event. This finding is consistent with previous studies that have used questionnaires to establish a link between a more data-driven, perceptual processing style, and abstract reasoning skills (Halligan et al., 2002; Sündermann et al., 2013). To our knowledge, our study is the first to demonstrate this link using a brain-related measure of perceptual processing.

Second, we found that more perceptual processing tended to be associated with more frequent intrusive memories. This was seen only in younger participants (aged 18 to 31 years old). This result provides partial support to Ehlers and Clark's (2000) cognitive model of PTSD which suggests that individuals who mainly process information in a perceptual way are more likely to experience post-traumatic symptoms. Their model suggests that preferential encoding of perceptual (sensory) information during a

potentially traumatic event leads to increased sensitivity to trauma-related stimuli (Ehlers & Clark, 2000). This increased sensitivity reduces perceptual threshold for environmental cues that can trigger intrusive memories (Ehlers & Clark, 2000). In our study, participants whose occipital activity was greater at 100 ms after stimuli presentation (when the brain was primarily engaged in processing the perceptual characteristics of the stimuli) reported more intrusive memories. Although these results do not allow to conclude that the video itself was also processed in a more perceptual manner, they show that the level of perceptual processing shortly after the event may be linked to subsequent intrusive memories. This finding is quite consistent with studies revealing that a more perceptual processing style (measured by questionnaires) is associated with more intrusive memories following a laboratory trauma analogue (Halligan et al., 2002; Laposa & Rector, 2012; Sündermann et al., 2013). Our results therefore further support the role of perceptual processing in the occurrence of post-traumatic symptoms, again with the novel and important contribution of using a direct, brain-based measure of perceptual processing. The reason why this effect appeared only in younger participants is not clear. Further studies will be necessary to clarify this.

Third, results partly confirmed our hypothesis that increased attentional bias would be linked with more intrusive memories. This association was found only for women. Interestingly, one prior study with similar results included a sample primarily composed of women (30 women and 9 men; Verwoerd et al., 2009). Gender is an important consideration for attentional bias (see Carlson et al., 2019). Intrusive memories and other

posttraumatic symptoms may be gender-dependent (general known risk factors include gender; Brewin et al., 2000). This finding warns against generalizing the conclusions of studies involving mainly female participants.

Although results partially confirmed some of our predictions, we also found unexpected results that were contrary to our hypotheses. First, abstract reasoning was not related to intrusive memories. Previous experimental studies that have found a negative link between abstract reasoning and intrusive memories have assessed intrusions in the laboratory, not using a weekly diary (Brewin & Beaton, 2002; Sopp et al., 2020). Other evidence for this link comes from studies of clinical samples exposed to real-life potentially traumatic events (Breslau et al., 2006, 2013; Macklin et al., 1998; McNally & Shin, 1995; Vasterling et al., 1997; for a review: Buckley et al., 2000). It is therefore possible that this relation between abstract reasoning and intrusive memories may exist (or be stronger) specifically in individuals more likely to develop symptoms, who were excluded from our study for ethical reasons. Exposure to a negative video does not produce effects intense enough to be comparable to a real-life event, which is a good thing (not to traumatize participants taking part in a study). Nevertheless, our study adds to the growing evidence that the link between intelligence and post-traumatic symptoms is not a simple one. It is possible that the relation between intelligence and intrusive memories is explained by the influence of a third variable, not involving abstract reasoning per se. Second, regarding the expected association between lower abstract reasoning and increased attentional bias, we did not find any support for this hypothesis. Instead, we

found the inverse relation: better verbal reasoning was linked with increased attentional bias, but only for women. Additional studies will be necessary to explore further this association.

A few limitations should be mentioned. Although ERP guidelines generally consider an age range of 18-40 years appropriate, it also advises that many ERP components vary with age (e.g. Picton et al., 2000). Indeed, our results (involving age range of 18-45 years) show a moderate relation between age and P1: the older the participants, the lower the amplitude. This is consistent with a study revealing a significant larger P1 amplitude for young adult (20-29 years old) than for middle-aged adult (36-48 years old) in a visual attention task (Reuter et al., 2019). They also found a difference in P1 latency: occurring later for younger than for middle-aged adults (Reuter et al., 2019). It is therefore possible that our time window was not optimal for older participants, failing to find similar results to younger participants. Finally, our results must be considered with caution, as they are of small magnitude and only emerged under certain conditions, in post-hoc analyses that lacked power. They nevertheless open the way for the use of ERPs as a more objective measure (than self-reports) for indexing the level of perceptual processing in future research on this topic.

In summary, our study is the first using brain-related measure to show that preexisting individual difference in abstract reasoning skills can be associated with perceptual processing following a negative event. Our findings also suggest that increased perceptual

processing while encoding a negative event might contribute to the persistence of intrusive memories (at least in younger individuals). Although caution is advised when drawing conclusion from trauma analog studies, results from our study suggest that attempting to reduce perceptual processing may be helpful to attenuate the severity of some post-traumatic outcomes. Strengthening abstract reasoning skills, which can potentially lead to a more conceptual, and a less perceptual, processing style is a promising approach. Future research should explore whether it is possible to directly influence the level of perceptual processing following exposure to a negative event, and in turn have an effect on the occurrence of symptoms.

References

- American Psychiatric Association (APA) (2013). *DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Bartlett, M. S. (1947). The use of transformations. *Biometrics*, 3(1), 39-52. <https://doi.org/10.2307/3001536>
- Benjet, C., Bromet, E., Karam, E. G., Kessler, R. C., McLaughlin, K. A., Ruscio, A. M., Shahly, V., Stein, D. J., Petukhova, M., Hill, E., Alonso, J., Atwoli, L., Bunting, B., Bruffaerts, R., Caldas-de-Almeida, J. M., de Girolamo, G., Florescu, S., Guereje, O., Huang, Y., Lepine, J. P., ... & Koenen, K. C. (2016). The epidemiology of traumatic event exposure worldwide: Results from the World Mental Health Survey Consortium. *Psychological Medicine*, 46(2), 327-343. <https://doi.org/10.1017/S0033291715001981>
- Bielecki, M., Popiel, A., Zawadzki, B., & Sedek, G. (2017). Age as moderator of emotional Stroop task performance in posttraumatic stress disorder (PTSD). *Frontiers in Psychology*, 8, Article 1614. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01614>
- Bomyea, J., Risbrough, V., & Lang, A. J. (2012). A consideration of select pre-trauma factors as key vulnerabilities in PTSD. *Clinical Psychology Review*, 32(7), 630-641. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.06.008>
- Bors, D. A., & Stokes, T. L. (1998). Raven's advanced progressive matrices: Norms for first-year university students and the development of a short form. *Educational and Psychological Measurement*, 58(3), 382-398. <https://doi.org/10.1177/0013164498058003002>
- Breslau, N., Chen, Q., & Luo, Z. (2013). The role of intelligence in posttraumatic stress disorder: Does it vary by trauma severity? *PLoS One*, 8(6), Article e65391. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065391>
- Breslau, N., Lucia, V. C., & Alvarado, G. F. (2006). Intelligence and other predisposing factors in exposure to trauma and posttraumatic stress disorder: A follow-up study at age 17 years. *Archives of General Psychiatry*, 63(11), 1238-1245. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.63.11.1238>
- Brewin, C. R., Andrews, B., & Valentine, J. D. (2000). Meta-analysis of risk factors for posttraumatic stress disorder in trauma-exposed adults. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 68(5), 748-766. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.68.5.748>

- Brewin, C. R., & Beaton, A. (2002). Thought suppression, intelligence, and working memory capacity. *Behaviour Research and Therapy*, *40*(8), 923-930. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(01\)00127-9](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(01)00127-9)
- Brewin, C. R., Dalgleish, T., & Joseph, S. (1996). A dual representation theory of posttraumatic stress disorder. *Psychological Review*, *103*(4), 670-686. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.103.4.670>
- Buckley, T. C., Blanchard, E. B., & Neill, W. T. (2000). Information processing and PTSD: A review of the empirical literature. *Clinical Psychology Review*, *20*(8), 1041-1065. [https://doi.org/10.1016/S0272-7358\(99\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0272-7358(99)00030-6)
- Caparos, S., & Blanchette, I. (2014). Emotional Stroop interference in trauma-exposed individuals: A contrast between two accounts. *Consciousness and Cognition*, *28*, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.06.009>
- Carlson, J. M., Aday, J. S., & Rubin, D. (2019). Temporal dynamics in attention bias: Effects of sex differences, task timing parameters, and stimulus valence. *Cognition and Emotion*, *33*(6), 1271-1276. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1536648>
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, *54*(1), 1-22. <https://doi.org/10.1037/h0046743>
- Chen, Y., Spagna, A., Wu, T., Kim, T. H., Wu, Q., Chen, C., Wu, Y., & Fan, J. (2019). Testing a cognitive control model of human intelligence. *Scientific Reports*, *9*(1), Article 2898. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39685-2>
- Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2025). Do emotionally negative events impair working memory as a result of intrusive thoughts? *Memory*, *33*(4), 390-403. <https://doi.org/10.1080/09658211.2025.2461153>
- Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2021) *Validation of a trauma film as an experimental negative event: Emotional responses, intrusive memories and concept activations*. [Manuscript in preparation]. Department of Psychology, Université du Québec à Trois-Rivières.
- Cisler, J. M., Wolitzky-Taylor, K. B., Adams Jr, T. G., Babson, K. A., Badour, C. L., & Willems, J. L. (2011). The emotional Stroop task and posttraumatic stress disorder: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, *31*(5), 817-828. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2011.03.007>
- Davies, M. I., & Clark, D. M. (1998). Predictors of analogue post-traumatic intrusive cognitions. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy*, *26*(4), 303-314. <https://doi.org/10.1017/S1352465898264022>

- Di Russo, F., Martínez, A., & Hillyard, S. A. (2003). Source analysis of event-related cortical activity during visuo-spatial attention. *Cerebral Cortex*, *13*(5), 486-499. <https://doi.org/10.1093/cercor/13.5.486>
- Ehlers, A., & Clark, D. M. (2000). A cognitive model of posttraumatic stress disorder. *Behaviour Research and Therapy*, *38*(4), 319-345. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(99\)00123-0](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(99)00123-0)
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, *17*(2), 172-179. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x>
- García, L. V. (2004). Escaping the Bonferroni iron claw in ecological studies. *Oikos*, *105*(3), 657-663. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13046.x>
- Grégoire, L., Caparos, S., Leblanc, C. A., Brisson, B., & Blanchette, I. (2018). Sexual abuse exposure alters early processing of emotional words: Evidence from event-related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, Article 655. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00655>
- Halligan, S. L., Clark, D. M., & Ehlers, A. (2002). Cognitive processing, memory, and the development of PTSD symptoms: Two experimental analogue studies. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *33*(2), 73-89. [https://doi.org/10.1016/s0005-7916\(02\)00014-9](https://doi.org/10.1016/s0005-7916(02)00014-9)
- Hayes, A. F. (2017). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach*. Guilford Press.
- Holmes, E. A., Brewin, C. R., & Hennessy, R. G. (2004). Trauma films, information processing, and intrusive memory development. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 3-22. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.3>
- Horowitz, M. J. (1975). Intrusive and repetitive thoughts after experimental stress. *Archives of General Psychiatry*, *32*(11), 1457-1463. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1975.01760290125015>
- James, E. L., Lau-Zhu, A., Clark, I. A., Visser, R. M., Hagenaars, M. A., & Holmes, E. A. (2016). The trauma film paradigm as an experimental psychopathology model of psychological trauma: Intrusive memories and beyond. *Clinical Psychology Review*, *47*, 106-142. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.04.010>

- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1999). *International affective picture system (IAPS): Instruction manual and affective ratings*. The center for research in psychophysiology, University of Florida.
- Laposa, J. M., & Rector, N. A. (2012). The prediction of intrusions following an analogue traumatic event: Peritraumatic cognitive processes and anxiety-focused rumination versus rumination in response to intrusions. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 43(3), 877-883. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2011.12.007>
- Leblanc-Sirois, Y., Chouinard-Gaouette, L., Grégoire, L., & Blanchette, I. (2021). Perceptual processing of stimuli related to an analogue traumatic event: An ERP study. *Brain and Cognition*, 153, Article 105774. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2021.105774>
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. MIT press.
- Macklin, M. L., Metzger, L. J., Litz, B. T., McNally, R. J., Lasko, N. B., Orr, S. P., & Pitman, R. K. (1998). Lower precombat intelligence is a risk factor for posttraumatic stress disorder. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 66(2), 323-326. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.66.2.323>
- Marks, E. H., Franklin, A. R., & Zoellner, L. A. (2018). Can't get it out of my mind: A systematic review of predictors of intrusive memories of distressing events. *Psychological Bulletin*, 144(6), 584-640. <https://doi.org/10.1037/bul0000132>
- McNally, R. J., & Shin, L. M. (1995). Association of intelligence with severity of posttraumatic stress disorder symptoms in Vietnam Combat veterans. *The American Journal of Psychiatry*, 152(6), 936-938. <https://doi.org/10.1176/ajp.152.6.936>
- Olofsson, J.K., Nordin, S., Sequeira, H., & Polich, J. (2008) Affective picture processing: An integrative review of ERP findings. *Biological Psychology*, 77(3), 247-265. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2007.11.006>
- Phaf, R. H., & Kan, K. J. (2007). The automaticity of emotional Stroop: A meta-analysis. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 38(2), 184-199. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2006.10.008>
- Picton, T. W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S. A., Johnson, R., Miller, G. A., Ritter, W., Ruchkin, D. S., Rugg, M. D., & Taylor, M. J. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37(2), 127-152. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3720127>

- Pineles, S. L., Shipherd, J. C., Welch, L. P., & Yovel, I. (2007). The role of attentional biases in PTSD: Is it interference or facilitation?. *Behaviour Research and Therapy*, *45*(8), 1903-1913. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2006.08.021>
- Raven, J. C., Raven, J. C., & John Hugh Court. (1962). *Advanced progressive matrices*. HK Lewis.
- Reuter, E. M., Vieluf, S., Koutsandreou, F., Hübner, L., Budde, H., Godde, B., & Voelcker-Rehage, C. (2019). A non-linear relationship between selective attention and associated ERP markers across the lifespan. *Frontiers in Psychology*, *10*, Article 30. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00030>
- Roediger, H. L. (1990). Implicit memory: Retention without remembering. *American Psychologist*, *45*(9), 1043-1056. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.9.1043>
- Sachschar, J., Woodward, E., Wichelmann, J. M., Haag, K., & Ehlers, A. (2019). Differential effects of poor recall and memory disjointedness on trauma symptoms. *Clinical Psychological Science*, *7*(5), 1032-1041. <https://doi.org/10.1177/2167702619847195>
- Schoemann, A. M., Boulton, A. J., & Short, S. D. (2017). Determining power and sample size for simple and complex mediation models. *Social Psychological and Personality Science*, *8*(4), 379-386. <https://doi.org/10.1177/1948550617715068>
- Smith, N. K., Cacioppo, J. T., Larsen, J. T., & Chartrand, T. L. (2003). May I have your attention, please: Electroocortical responses to positive and negative stimuli. *Neuropsychologia*, *41*(2), 171-183. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00147-1](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00147-1)
- Sopp, M. R., Streb, M., Brueckner, A. H., Schäfer, S. K., Lass-Hennemann, J., Mecklinger, A., & Michael, T. (2020). Prospective associations between intelligence, working memory capacity, and intrusive memories of a traumatic film: Potential mediating effects of rumination and memory disorganization. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *70*, Article 101611. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2020.101611>
- Sündermann, O., Hauschildt, M., & Ehlers, A. (2013). Perceptual processing during trauma, priming and the development of intrusive memories. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *44*(2), 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2012.10.001>
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (1996). *Using multivariate statistics* (3rd ed.). Harper Collins.

- Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M. (2011). Brainstorm: A user-friendly application for MEG/EEG analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011, Article 879716. <https://doi.org/10.1155/2011/879716>
- Taylor, M. J. (2002). Non-spatial attentional effects on P1. *Clinical Neurophysiology*, 113(12), 1903-1908. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00309-7](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00309-7)
- Uitenbroek, D. G. (1997). *SISA binomial*. Southampton: DG Uitenbroek. Retrieved January, 1, 2014. <https://www.quantitativeskills.com/sisa/distributions/binomial.htm>
- Vasterling, J. J., Brailey, K., Constans, J. I., Borges, A., & Sutker, P. B. (1997). Assessment of intellectual resources in Gulf War veterans: Relationship to PTSD. *Assessment*, 4(1), 51-59. <https://doi.org/10.1080/0969594970040104>
- Verwoerd, J., de Jong, P. J., & Wessel, I. (2008). Low attentional control and the development of intrusive memories following a laboratory stressor. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 30(4), 291-297. <https://doi.org/10.1007/s10862-008-9080-6>
- Verwoerd, J., Wessel, I., de Jong, P. J., & Nieuwenhuis, M. M. (2009). Preferential processing of visual trauma-film reminders predicts subsequent intrusive memories. *Cognition and Emotion*, 23(8), 1537-1551. <https://doi.org/10.1080/02699930802457952>
- Verwoerd, J., Wessel, I., de Jong, P. J., Nieuwenhuis, M. M., & Huntjens, R. J. (2011). Pre-stressor interference control and intrusive memories. *Cognitive Therapy and Research*, 35(2), 161-170. <https://doi.org/10.1007/s10608-010-9335-x>
- Weathers, F. W., Litz, B. T., Keane, T. M., Palmieri, P. A., Marx, B. P., & Schnurr, P. P. (2013). *The PTSD checklist for DSM-5 (PCL-5)*. <https://www.ptsd.va.gov/professional/assessment/adult-sr/ptsd-checklist.asp>
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale WAIS-IV; Technical and Interpretive Manual*. Pearson.
- Wessel, I., Overwijk, S., Verwoerd, J., & de Vrieze, N. (2008). Pre-stressor cognitive control is related to intrusive cognition of a stressful film. *Behaviour Research and Therapy*, 46(4), 496-513. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2008.01.016>

Article scientifique 3
Do Emotionally Negative Events Impair Working Memory as a Result
of Intrusive Thoughts?

Do Emotionally Negative Events Impair Working Memory as a Result of Intrusive Thoughts?

Laurence Chouinard-Gaouette^{a*} and Isabelle Blanchette^b

^a Psychology Department, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, Canada

^b École de psychologie, Université Laval, Québec, Canada

*Correspondence details: Département de Psychologie, Université du Québec à Trois-Rivières, C.P. 500, Trois-Rivières, Québec, Canada, G8Z 4M3.

laurence.chouinard-gaouette@uqtr.ca

Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2025). Do emotionally negative events impair working memory as a result of intrusive thoughts? *Memory*, 1-14.
<https://doi.org/10.1080/09658211.2025.2461153>

Data Availability

The two videos are available upon request to the corresponding author. Data are available here: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/64W57>

Acknowledgement

This research was supported by grant number 435-2018-0350 from the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada awarded to Isabelle Blanchette and by doctoral scholarship number 336907 from the Fonds de Recherche du Québec Société et Culture aware to Laurence Chouinard-Gaouette.

We thank Marie-Oriane Kone and Suchen Yao for their precious help with data collection.

We have no conflict of interest to declare.

Abstract

Individuals exposed to highly stressful negative events show alterations in working memory (WM) function. The correlational nature of these studies makes it impossible to determine whether exposure to negative events itself decreases WM. Such events elicit intrusive thoughts which may cause interference in WM. The main objective of this study was to verify the causal impact of a recent negative event on WM, and to examine the role of intrusive thoughts. One hundred and twenty participants completed a WM task (*n*-Back). Then, 90 of these participants watched an emotionally negative video and 30 watched a neutral video. The emotional impact of the video was assessed, and the frequency of intrusive thoughts were measured. WM was measured a second time (*n*-Back) while recording EEG (P300). Contrary to our hypothesis, the negative video did not impair behavioral WM performance compared to the neutral video. However, it disrupted WM neurocognitive processes (lower P300 amplitude) under low WM load. In the high load condition, greater emotional reaction was linked to poorer accuracy and more intrusive thoughts, which in turn slowed response times. Our results suggest that the impact of negative emotions on WM depends on both individual sensitivity and cognitive load.

Keywords: Emotionally Negative Event, Trauma Film Paradigm, Working Memory, Intrusive Thoughts, ERP

Introduction

Experiencing highly stressful events is related with negative consequences for cognitive processes such as attention, executive functions, and memory (Stein et al., 2002). Notably, participants exposed to such events show lower performance on working memory (WM) tasks (e.g., Blanchette & Caparos, 2016; Goodman et al., 2019). Experiencing negative events is known to elicit intrusive memories, defined as involuntary emotional images, thoughts, or sensations which disturb daily life activities (American Psychiatric Association, 2013; Ehlers & Clark, 2000). Most studies exploring the associations between exposure to negative events, WM function, and intrusive thoughts are correlational. Thus, important questions are whether exposure to a negative event itself causes a decrease in WM, and whether this effect is explained by the occurrence of intrusive thoughts.

Impairments in WM have been documented in relation to different types of negative life events. For instance, participants exposed to early life stress show significantly lower accuracy in a WM task than participants not exposed to such stress (Fuge et al., 2014). In sexually assaulted participants, lower WM correlates with the reported severity of the event (Blanchette & Caparos, 2016). This association between experiencing negative events and lower WM is not moderated by anxiety, depression (El-Hage et al., 2006), or post-traumatic symptoms (Blanchette & Caparos, 2016). Thus, the relation between emotionally negative events and WM deficits may be independent of clinical symptoms (Goodman et al., 2019). However, because these studies are correlational, the causal link

between exposure to negative events and WM cannot be ascertained. The plausibility of such a causal link is suggested by experimental results.

A considerable experimental literature has examined the interactions between negative emotions and WM. Several studies found that prior exposure to negative emotional contents impairs WM (e.g. Choi et al., 2013; Long et al., 2020; Seibert & Ellis, 1991; For a review see: Ribeiro et al., 2019). However, other studies revealed no difference between exposure to negative and neutral stimuli on WM performance (e.g. Chepenik et al., 2007; Grimm et al., 2012). These contradictory findings may be explained by differential emotional impact across individuals or experiments; exposure to negative stimuli in some studies may not have produced the expected effect due to individual (in)sensibilities to emotional content (Schweizer et al., 2019). Thus, in such an experimental design, it is crucial to consider the extent of the emotional impact of a negative content within individuals to better determine its effect on WM. Moreover, the mechanisms responsible for the potential effect of such content on WM function need to be determined. One such possible mechanism is related to the susceptibility of WM to interference.

The function of WM is to temporarily keep active and manipulate information relevant to a goal (Baddeley, 1996). Because WM resources are limited, updating current content while inhibiting distractors is essential (Engle, 2002). WM is particularly susceptible to emotional interference (e.g., Grissmann et al., 2017, Long et al., 2020;

Plancher et al., 2019; Stout et al., 2020; for a review see Schweizer et al., 2019). It is suggested that following exposure to negative emotions, irrelevant thoughts are activated in WM and difficult to replace with task-relevant content (Eysenck & Calvo, 1992; Koster et al., 2011). This assumption is supported by a meta-analysis revealing an association between the propensity for repetitive negative thinking and deficits in a specific WM function, namely inhibiting irrelevant contents (Zetsche et al., 2018). Indeed, repetitive thinking, taking the form of worry (e.g. Stout et al., 2015) or rumination (e.g. Koster et al., 2011), impairs the ability to update and control the maintenance of relevant contents in WM (Zetsche et al., 2018). Likewise, it is plausible that following exposure to a negative event, intrusions, taking form of involuntary emotional images, thoughts, or sensations, are activated in WM and disrupt updating processes. In line with this, the extent of intrusive thoughts experienced in relation to a stressful event is negatively correlated with WM (Bomyea et al., 2012; Figueira et al., 2017; Klein & Boals, 2001). In our study, we aimed to explore whether intrusive thoughts elicited by a recent emotionally negative event can be a mechanism underlying the impairment of WM following such exposure.

Although the link between intrusive thoughts and WM is well established, it remains unclear whether intrusive thoughts lead to impaired WM or whether lower WM capacity is related to worse inhibition of intrusive thoughts. The latter is supported by a large literature showing that individuals who are better able to effectively update WM to focus on the maintenance of task-relevant information experience less intrusive thoughts

(Bomyea & Amir, 2011; Brewin & Smart, 2005; Curci et al., 2013; Streb et al., 2016; Verwoerd et al., 2008; Wessel et al., 2008). Despite these interesting results, the literature is disparate, as some studies have failed to find a predictive link between WM capacity and intrusive thoughts (e.g. Voss et al., 2019; Woud et al., 2019). Nevertheless, these results highlight the importance of considering pre-existing WM capacity when exploring the causal impact of exposure to a negative content on WM. Also, the two possibilities are not mutually exclusive; the fact that better WM capacity may be associated with more successful inhibition of intrusive thoughts does not exclude the possibility that intrusive thoughts also disrupt WM processes. In our study we aimed to investigate specifically the latter possibility: that intrusive thoughts disrupt WM following exposure to a negative emotional content, while controlling for pre-exposure WM capacity.

Measuring the occurrence of intrusive thoughts is a challenge. Measuring how they interfere in a WM task even more. Some studies have used retrospective self-report questionnaires (e.g. Klein & Boals, 2001; Weber et al., 2005). These questionnaires quantify the individual propensity to experience intrusive thoughts generally; however, they do not provide information about the specific frequency of occurrence of these intrusions following a negative event. One laboratory-based method to specifically quantify the frequency of intrusive thoughts is to ask participants to report them over a short period of time immediately after the exposure to a negative content (e.g., Davies & Clark, 1998; Horowitz, 1975; Nixon et al., 2009; for a review see: James et al., 2016). The number of intrusive thoughts reported during a 5-minute period following a negative video

is moderately-to-strongly correlated with subsequent intrusive memories reported in a week diary and with the subjective emotional impact of the video (Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2024a; Davies & Clark, 1998). Contrary to self-reported retrospective questionnaires, this measure provides a more specific situational index of intrusive thoughts, rather than trait-level individual differences, thus providing a useful method to explore whether intrusive thoughts mediate the impact of negative content on WM performance.

To improve the understanding of the expected interfering effect of intrusive thoughts on WM, evoked response potentials (ERPs), such as the P300 component, can provide a useful index of specific WM processes (Polich, 2007). The P300 is a positive component occurring between 250-500 ms after a stimulus (Polich, 2007). In an *n*-back task, requiring continuous maintenance and updating of information in WM, the P300 amplitude tends to decrease with increased WM load (Gevins et al., 1996; Polich, 2007). Changes in P300 amplitude during an *n*-back task can be used to track disruption in WM updating processes caused by interfering information (Gevins & Smith, 2000; McEvoy et al., 1998; Scharinger et al., 2017; Zickerick et al., 2020). Interestingly, one study with PTSD patients found a negative relationship between P300 amplitude in a WM task and the propensity to experience intrusive memories, as measured by a questionnaire (Weber et al., 2005). It is therefore plausible that the occurrence of intrusive thoughts contributes to overload WM in a task requiring continuous updating, which could be observed by a lower P300 amplitude.

Overall, there is a consensus that experiencing negative events is related to WM decrements. However, currently, the causal link between these two variables remains elusive. In addition, the mechanisms responsible for the potential impact of negative contents on WM is poorly understood, though intrusive thoughts may play a role. To the best of our knowledge, no study has yet considered pre-existing WM capacity, nor the extent of the emotional impact of a negative content on subsequent WM performance, nor the frequency of intrusive thoughts specifically caused by exposure to this negative content. To examine these questions, it is necessary to employ a prospective design that assesses WM of participants before and after an exposure to a negative content. The trauma film paradigm is a validated experimental method that involves exposing participants to a negative video (Horowitz, 1975). This procedure is known to elicit behavioral and physiological responses, such as intrusive thoughts, analogous to those observed following real-life negative events, but which do not last over time (Horowitz, 1975; James et al., 2016). The results of a large literature support the usefulness of this method as an analogue to real-life negative events (for reviews see Holmes & Bourne, 2008; James et al., 2016). It provides an essential procedure to uncover the causal impact of negative events, something that cannot be done with more intense, real-life events.

The main objective of this study was to determine the negative impact of exposure to emotional contents on WM. We also aimed to explore whether this expected decrease in WM is related to the frequency of intrusive thoughts. To do this, we used the trauma film paradigm. One group of participants watched an emotionally negative video, while the

other watched a neutral video. The emotional impact of the videos was assessed. The number of intrusive thoughts was quantified over a period of five minutes. Participants performed an *n*-back task twice: before and after viewing the video. Behavioral performance and electrophysiological measurements were compared between groups. Our first hypothesis was that exposure to a negative video would lead to lower accuracy, slower response times, and a lower P300 amplitude in the *n*-back task, compared to exposure to a neutral video. We further expected that a greater self-reported emotional impact of the negative video would correlate with lower WM performance. Our second hypothesis was that the number of intrusive thoughts would have a mediating effect in the relationship between the emotional impact of the negative video and WM decrement. We also expected that more intrusive thoughts would correlate with lower P300 amplitude, suggesting disruption in updating WM process.

Method

Participants

This study was part of a broader data collection project involving additional separate theoretical questions reported in a second article (Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2024b).

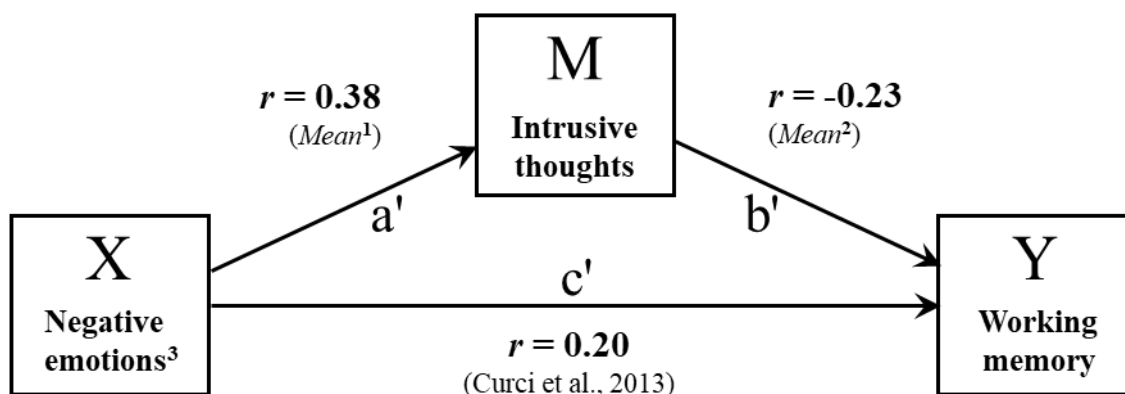
One hundred and twenty participants were randomly assigned to one of two groups: a group of 90 participants watched an emotionally negative video and a control group of 30 participants watched a neutral video. More participants were needed in the negative

group to test our second hypothesis of a mediating effect of intrusive thoughts in the relationship between the emotional impact of the negative video and WM performance. To determine the sample size for the negative group, we used a Monte Carlo power analysis simulation for mediation models with the following options: a power of 0.80, a confidence interval width of 95%, 10 000 replications, a Monte Carlo draws per rep of 20 000 and a random seed of 1 234 (Schoemann et al., 2017). We entered a correlation matrix and standard deviations of the variables (see Figure 1) based on previous similar studies describe in the introduction (Bomyea et al., 2012; Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2024a; Curci et al., 2013; Davies & Clark, 1998; Hagedaars et al., 2010; Klein & Boals, 2001).

Based on this power analysis simulation, the required sample size calculated for the negative group was 81 for detecting the hypothesized indirect effect of intrusive thoughts. We also determined sample size for the control group based on previous studies that found moderated-to-strong effect sizes in WM accuracy differences following exposure to emotionally negative or neutral content: $d = 0.50$ (Choi et al., 2013), $d = 0.67$ (Long et al., 2020), and $d = 0.76$ (Plancher et al., 2019). Based on this averaged effect size ($d = 0.64$, converted in a $f = 0.32$) the required sample size calculated with a power of 0.80, an alpha of 0.0125 (adjusted for multiple comparisons), two groups and four measurements was 54 for detecting a within-between interaction (Faul et al., 2007). More participants than necessary were recruited to compensate for the rejection of data due to excessive EEG artefacts, incorrect trials, attention check failure, and attrition.

Figure 1

Correlations Used for Monte Carlo Power Analysis for Sample Size Calculation of a Mediation Model



Note. ¹ Mean of Chouinard-Gauette & Blanchette, 2024a ($r = 0.46$), Davies & Clark, 1998 ($r = 0.39$; $r = 0.46$; $r = 0.31$) and Hageñaars et al., 2010 ($r = 0.33$; $r = 0.34$)

² Mean of Bomyea et al., 2012 ($r = -0.24$) and Klein & Boals, 2001 ($r = -0.22$)

³ Refer to the emotional impact of a laboratory exposure to a negative content.

One hundred and twenty-four participants aged 18 to 45 were recruited from the general population by ads posted on social networks. Participants were carefully informed of the nature of the content of the negative video and the risk of emotional reactions. Appropriate psychological support resources were listed in the information sheet and the researcher remained available after the study in case participants experience discomfort as a result of their participation.

Participants were required to be able to speak and read French, to have normal or corrected-to-normal vision, and no color blindness. Individuals with a score of 38 or higher on Post-traumatic Check List (PCL-5) were excluded. A score above this threshold

indicates a pre-existing vulnerability that can be exacerbated by laboratory stress. Those who reported having personally been involved, or witnessed a serious traffic accident, or a loved one who has been involved in such an accident, were also excluded because the negative video featured scenes of road accidents. Having experienced such an event could elicit more intrusive thoughts after seeing our video, independently of the experimental manipulation. People with a diagnosis of a neurocognitive disorder and those who take medication altering cognitive function were also excluded from the study. Financial compensation of 30 Canadian dollars were provided. This study is approved by the ethics committee of the university.

Of the 124 participants recruited, we have data for 120 due to technical problems with the recording. The 120 participants, 44 men, 75 women, and 1 other, with a mean age of 30.8 years ($SD = 8.6$, range 18-45) were randomly assigned to either the negative video ($n = 90$, 34 men, age $M = 31.2$, $SD = 8.5$) or to the neutral control video ($n = 30$, 10 men, 1 other, age $M = 29.8$, $SD = 8.9$). Eighty participants took part in the experiment in one city and 40 in another. These two samples were proportionally allocated into the negative (75%) and neutral (25%) video groups.

Procedure and Materials

Upon receipt of the signed consent and completed screening questionnaire (PCL-5), eligible participants were sent a link to complete a first session online. Tasks were designed using Qualtrics (Qualtrics software, Provo, USA). Participants first answered

socio-demographic questions: age, sex, and education. They then completed an *n*-back task to provide a baseline measure of WM. The second session took place at the electrophysiology laboratory of the university at least one week after the online session. Tasks were presented using the E-Prime 3.0 software (Psychology Software Tools, Inc. Pittsburgh, USA). All stimuli were presented at a viewing distance of 80 cm and subtending a visual angle of 2° height on a 23-inch HP or a 24-inch Dell monitor with a refresh rate of 60 Hz and a resolution of 1920 × 1080 pixels. The electrophysiological recording material was installed. Participants were first invited to relax by watching a quiet 2-minute video. They then reported their current emotional state. Following this, they watched the 13-minute experimental video (negative or neutral) and again reported their current emotional state. Participants then reported any intrusive thoughts of the video for a period of five minutes. They completed a second *n*-back task, followed by the Intrusions subscale of IES questionnaire. They then completed a memory test presenting images from the videos to ensure they actually paid attention to videos. The session ended with reporting current emotional state and a debriefing about the negative content of the study. Emotional regulation strategies were proposed if necessary.

Post-Traumatic Check List (PCL-5)

The PCL is a self-reported 20-item scale corresponding to PTSD symptoms of DSM-5 that people may experience as a result of a potentially traumatic event (Weathers et al., 2013). Intensity of the 20 items is measured on a five-point Likert scale ranging from *not at all* to *very often*. An additional question asked participants to report any traffic accident

they may have experienced themselves, or witnessed, or if a loved one has been involved in such an event.

Online n-Back Task

The *n*-back task requires maintenance and continuous updating of information in WM (Kirchner, 1958). This task requires comparing a current stimulus with a stimulus presented *n*-steps back in a sequence. Participants have to continuously update information maintained in WM by shifting their attention between stimuli for comparison and inhibiting stimuli no longer relevant. The accuracy and response times in a *n*-back task reflect the efficiency of WM updating processes.

Digits were presented successively, one at a time, on the screen. For each trial, participants indicated by pressing a button whether or not the current digit matches that presented *n* trials previously. Each trial began with a 250 ms fixation cross, then a random digit (1 to 9) appeared for 250 ms, followed by a 1750 ms interstimulus interval. Digits were displayed in black on a white background in Arial 60-point font size. The task consists of 3 test blocks: 0-back, 2-back, and 3-back. First, participants completed 30 trials of the 0-back condition which provide a baseline for response time with no WM demands. Participants simply had to press a button when a 0 is presented instead of a digit between 1 and 9. Then, to familiarize themselves with the task, participants performed 10 1-back practice trials and 10 2-back practice trials. Finally, participants completed a block of 60 2-back trials followed by a block of 60 3-back trials. Each block consists of 25% matched

trials. This first measure of WM was complete at least one week before the main session to reduce the practice effect of performing twice the same WM task in a short test-retest period (e.g. Calamia et al., 2012). The reliability and validity of this online measure are suggested by a study demonstrating that online n -back tasks performed in uncontrolled environment have acceptable psychometric properties, similar to n -back tasks performed in a controlled laboratory setting (Kulikowski & Potasz-Kulikowska, 2016).

Baseline Video

A neutral 2-minute video showing scenes of seascapes accompanied by soft melody was presented to stabilize participants' mood.

Experimental Videos

Participants watched either a negative video or a neutral video. The negative video is a 13:05 minute montage made from 17 short clips showing fictitious and real road accidents where people were seriously injured or died. The neutral video is a 13:05-minute documentary concerning a method to generate electricity. The results of a validation study show that the negative video caused more intrusive thoughts reported in a 5-minutes period and over the following week than the neutral video, with large effect sizes ($d = 0.66$ and $d = 0.82$ respectively; Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2024a).

Emotional State Scale

Participants assessed their emotional state on a Likert scale from *very negative emotional state* (1) to *very positive emotional state* (9). This measure allowed us to verify that the average emotional state of two groups was equivalent at the start. It also enabled us to assess the emotional impact of the negative video.

Five-Minute Intrusive Thoughts

Intrusive thoughts were recorded for a 5-minute period (e.g. Horowitz, 1975; Nixon et al., 2009; for a review see: James et al., 2016). Participants were asked to close their eyes and press a button each time a thought, a mental image, or a sensation about the video occurs, and to release the button when it is gone. They were instructed that there was no need to make any special effort to either think about or not to think about the video but to record any memories that came to mind.

n-Back Task

The task was the same as the one in the online session. Digits were displayed in grey on a black background in Arial 80-point font size. Each trial began with a 250 ms fixation cross, followed by a random digit (1 to 9) for 250 ms, followed by a 1750 ms interstimulus interval. First, participants completed 30 trials of the 0-back condition, then, a 20 practice trials in the 2-back condition. They then completed a block of 150 2-back trials followed by a block of 150 3-back trials. Finally, participants again completed 30 trials of the 0-back condition.

Only non-matched trials (75%) were included in ERP analyses as the P300 component reflects updating mechanisms of WM on these, while for matched trials it reflects target detection (Gevins et al., 1996; Polich, 2007). Also, only trials with correct responses were included in ERP analyses to prevent the possible contamination from error-related negativity (Li et al., 2006; Miller et al., 2012).

Intrusions Subscale of the Impact of Event Scale-Revised (IES-R)

The French version of the IES-R is a 22-item questionnaire measuring post-traumatic symptoms (Brunet et al., 2003). Participants rated on a five-point Likert scale ranging from *not at all* to *extremely* the extent to which items of the intrusion subscale applied to their experiences during the *n*-back task. For instance, “Images of the video appear in my head” or “Unintentionally, I thought about the video”. Only 6 of the 8 items of the subscale were used as 2 items refer to sleep. Selected items total score ranges between 0 and 24. This measure allowed us to verify whether more intrusive thoughts reported on the 5-minute period would effectively be related to a more negative impact while performing the *n*-back task. Indeed, the magnitude of the correlation between both measures would be indicative of the reliability of our conclusions concerning the role of intrusive thoughts frequency in the expected WM decrement.

Recognition Test

To verify that participants actually paid attention to the video, ten images (five from each video) were presented, and they were asked to indicate whether or not they were

taken from the video watched previously. Unfortunately, due to a programming error we do not have responses on this task. However, the results of an online study using these two videos with this recognition test revealed a mean accuracy of 9.4 ($SD = 0.7$, range 8-10) images correctly responded on the 10 images presented (Chouinard-Gaouette & Blanchette, 2024a). Only one of the forty participants (2.5%) was excluded due to failing this recognition test, as only one of the five images from the watched film was correctly recognized. Thus, we can assume that the same task done in the laboratory would probably have a better accuracy rate.

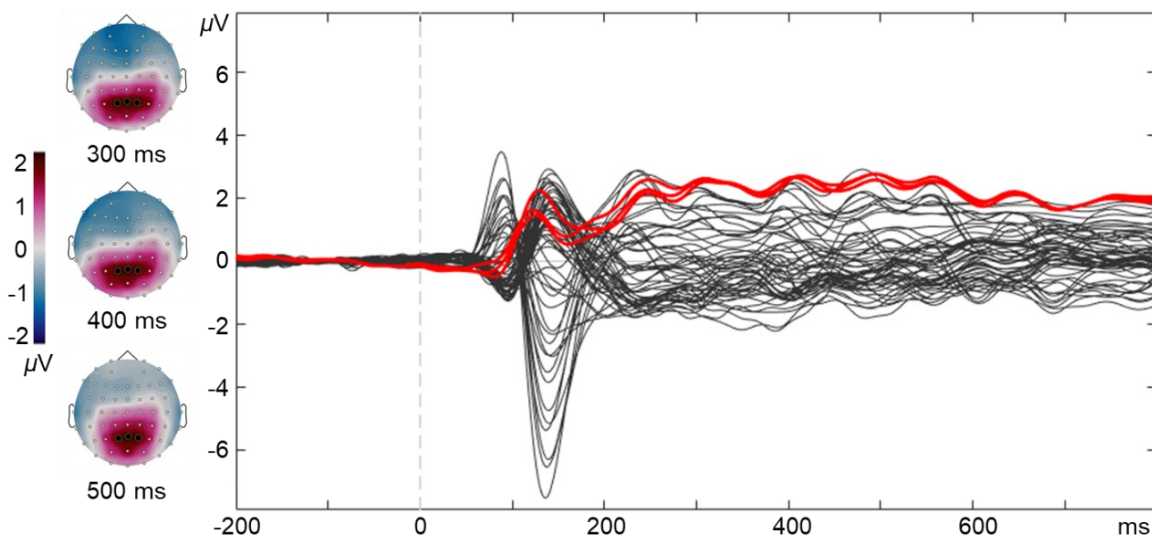
Electroencephalography (EEG)

EEG signal was acquired continuously from 64 active Ag/AgCl electrodes positioned according to the 10/20 system using a Brainvision ActiCHamp system (Brain Products, Germany). The resolution of analogue-to-digital conversion was 24 bits. Signals were synchronized across two ActiCHamp digital amplifiers, using the PyCorder software for 80 participants and Brainvision Recorder software for 40 participants. Electrodes impedances were kept below 25 k Ω . Signal was band-pass filtered at 0.01 Hz to 100 Hz and sampled at 500 Hz. The reference was recorded at the average of the two earlobes. The ground was placed at Fpz. Horizontal electrooculogram (HEOG) was recorded from electrodes placed about 1 cm from the outer canthi of each eye. Vertical electrooculogram (VEOG) was recorded from electrodes positioned above and below the right eye.

The EEG signal was analyzed with Brainstorm (Tadel et al., 2011). A 0.1 Hz to 40 Hz band-pass filter with a zero phase-shift was applied to all channels. The signal was re-referenced to the average and corrected for ocular artefacts with independent component analysis. The signal was then segmented into epochs of -200 ms to 800 ms according to the onset of digits. A baseline correction was applied with references to the average amplitude in the 200 ms pre-stimulus period. Channels with electromyographic (EMG) artefacts or peak-to-peak deflection exceeding 100 μV within an interval length of 200 ms were removed. Mean amplitude in the P300 time window (300-500ms) were extracted from regions of interest (ROIs) defined by groups of 3 electrodes on parietal position: Pz, P1, and P2. This time window and electrodes were selected based on inspection of the topography and the grand average waveform to identify the most positive peak (see Figure 2). We limited our ERP analysis to P300 amplitude at parietal sites as we did not observe a positive deflection at frontal sites in the 300-500 ms time window. This is similar to previous studies using verbal *n*-back tasks (e.g. Chen et al., 2008; Gevins et al., 1996; Scharinger et al., 2017). Data from correct response non-matched trials were averaged separately according to WM load (2-back and 3-back) and group (negative or neutral video).

Figure 2

Topography and Variation of the Grand Average ERP Waveforms for All Participants in Both WM Load Conditions (Electrodes Pz, P1, and P2 are in red)



Statistical Analysis

Preprocessing

Because of right skewed distributions for intrusive thoughts (1.48) and IES score (1.70), we normalized these distributions (5-minute intrusive thoughts: 0.62, IES score: 1.08) using a square root transformation (Bartlett, 1947). All analyses were performed on these transformed data.

In the baseline *n*-back task, participants provided a response on 78.3% of 2-back trials and 73.3% of 3-back trials. We excluded the data from 9 participants due to insufficient answered trials (< 50%). We also excluded the data from 2 participants whose accuracy

rate was insufficient (< 2.5 SD from the mean). The accuracy rate was calculated only with answered trials.

In the n -back task performed after viewing the video, participants provided a response on 93.3% of 2-back trials and 83.1% of 3-back trials. The data from 21 participants are missing due to a technical problem with the recording. We excluded the data from 2 participants whose accuracy rate was insufficient (< 2.5 SD from the mean). The data from 1 participant were excluded due to excessive noise (alpha rhythm). The final sample for analyses involving the baseline and the second WM task included data from 87 participants: 65 who watched the negative video and 22 the neutral video.

For reaction times analyses, all incorrect trials were excluded (17.1% on the baseline n -back and 18.5% on the second n -back task). Trials with response times shorter than 200 ms and longer than 1800 ms were also excluded (16.9% on the baseline n -back and 13.4% on the second n -back task). We did not use response times difference between experimental conditions (2-back and 3-back) and the 0-back conditions because of significant faster response times in the 0-back condition at the end of the tasks compared to the beginning, -53.77 ms, $t(96) = 4.48$, $p < 0.001$, $d = 0.46$.

Manipulation Check

t -Tests were used to compare the number of intrusive thoughts and the score on the IES Intrusion subscale for the participants who watched the negative and neutral videos.

We also examined correlation between the number of intrusive thoughts and the IES score within each video group. To compare emotional responses to the videos, a 2x2 mixed ANOVA with video (negative vs neutral) and time (before vs after watching the video) was used with emotional state score as the dependent variable. The video was a between-subject variable and time was entered as a within-subject variable.

Main Analyses

To verify our first hypothesis that exposure to a negative emotional video would lead to decreases in WM performance compared to a neutral video, a mixed 2x2x2 ANOVA with video groups (negative vs neutral), WM load (2-back vs 3-back), and time (baseline vs after watching the video) was used with accuracy in the *n*-back tasks as dependent variable. We also performed the same mixed ANOVA with response times as dependent variable. We used a 2x2 mixed ANOVA with video groups (negative vs neutral) and WM load (2-back vs 3-back) to examine differences in the amplitude of the P300 component. The video group was a between-subject variable and WM load was a within-subject variable.

All subsequent analyses were performed only for participants who watched the negative video. We used the difference in the emotional state score reported before and after watching the video to reflect the emotional impact of the negative video. We used the difference in WM performance (between baseline and after video measures) to index WM decrement. We first examined correlations to quantify the relationships between the

emotional impact of the video, the level of WM decrement, P300 amplitude, and the number of intrusive thoughts. If these variables had been significantly correlated, a mediation analysis (Process Procedure for SPSS: Hayes, 2017) would have been used to examine our hypothesis that the number of intrusive thoughts would mediate the relationship between the emotional impact of the video and WM performance (as illustrate on Figure 1 above). The significance of direct and indirect effects would have been estimated using bias-corrected bootstrap confidence interval (CI 95%) based on 2000 samples. The significance of the indirect effects would have been assessed using the Sobel test.

We controlled for multiple comparisons using the Holm-Bonferroni sequential method to adjust p -values according to the 4 family tests that were performed. While correcting alpha inflation, we considered variable dependence using the Simple Interactive Statistical Analysis program (Uitenbroek, 1997) to account for the correlations between the variables (García, 2004). We considered homogeneity of variance by adjusting degrees of freedom and t -values when Levene's test was significant.

Exploratory Analyses

We used correlational analyses to explore whether better preexisting WM capacity was related to less intrusive thoughts, as has been documented in previous studies (Bomyea & Amir, 2011; Brewin & Smart, 2005; Curci et al., 2013; Streb et al., 2016; Verwoerd et al., 2008; Wessel et al., 2008). Correlations were performed only for

participants who watched the negative video with the following variables: baseline accuracy of WM (on 2-back and 3-back) and the number of intrusive thoughts.

Results

Group Equivalence

The participants who watched the negative and neutral videos did not differ on age, $t(118) = 0.80$, $p = 0.427$, $d = 0.17$, education, $t(118) = 0.86$, $p = 0.393$, $d = 0.18$, PCL5 score, $t(118) = 0.03$, $p = 0.978$, $d = 0.01$, baseline 2-back task accuracy $t(75.05) = -1.18$, $p = 0.242$, $d = -0.22$, or response times $t(65.66) = 0.16$, $p = 0.877$, $d = 0.03$, and baseline 3-back task accuracy $t(107) = 1.46$, $p = 0.147$, $d = 0.31$, or response times $t(107) = 1.36$, $p = 0.178$, $d = 0.29$. Thus, participants in both groups had comparable age, levels of education, posttraumatic symptoms, and baseline working memory capacity.

Manipulation Check

Intrusive Thoughts

Participants who watched the negative video reported more frequent intrusive thoughts during the 5-minute period after the video (SQRT $M = 3.71$, $SD = 1.33$) than participants who watched the neutral video (SQRT $M = 3.24$, $SD = 0.80$), $t(83.80) = 2.30$, $p = 0.024$, $d = 0.38$. They also rated being more disturbed by intrusive thoughts about de video (IES intrusion subscale) when performing the second n -back task (SQRT $M = 1.91$, $SD = 1.03$) than participants who watched the neutral video (SQRT $M = 1.38$, $SD = 0.72$), $t(70.68) = 3.11$, $p = 0.003$, $d = 0.55$. Within the negative-video group, 5-minute intrusive

thoughts were strongly correlated with the IES score, $r = 0.49$, $p < 0.001$. There was no such association for participants who watched the neutral video, $r = 0.08$, $p = 0.675$.

Emotional State

The negative video induced more change in emotional state than the neutral video. The interaction between videos and time was significant, $F(1, 118) = 117.85$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.50$. The emotional state of participants who watched the negative video was significantly more negative after viewing the video compared to before, -4.13 , $F(1, 118) = 435.55$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.79$. For participants who watched the neutral video, there was no significant difference on the emotional state reported before and after the video, $F(1, 118) = 0.24$, $p = 0.628$, $\eta^2p < 0.01$.

Between-Group Results

Working Memory Accuracy

The triple interaction between time, WM load and video group was not significant, $F(1, 85) = 0.33$, $p = 0.568$, $\eta^2p < 0.01$ (see Table 1, Figure 3). There was a significant effect of WM load: participants were less accurate on the 3-back compared to the 2-back conditions, -12.58% , $F(1, 85) = 136.09$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.62$. No other effect or interaction was significant. The difference in accuracy after viewing compared to the baseline was not significantly different between groups for either the 2-back condition, $t(85) = 0.37$, $p = 0.716$, $d = 0.09$, $BF_{01} = 5.04$, or the 3-back condition, $t(85) = -0.34$, $p = 0.739$, $d = -0.08$, $BF_{01} = 5.09$. Overall, contrary to our hypothesis, viewing the

negative video did not significantly decrease WM accuracy relative to viewing the neutral video.

Working Memory Reaction Times

The triple interaction between time, WM load and video group was not significant, $F(1, 85) = 0.11, p = 0.736, \eta^2p < 0.01$ (see Table 1, Figure 4). The effect of WM load was significant: participants were slower on the 3-back compared to the 2-back conditions, +93.44 ms, $F(1, 85) = 46.57, p < 0.001, \eta^2p = 0.35$. There was a significant interaction between time and WM load, $F(1, 85) = 45.16, p < 0.001, \eta^2p = 0.35$. The slowdown in response times between 2-back and 3-back conditions was significant on the second task (+176.97 ms, $F(1, 85) = 53.09, p < 0.001, \eta^2p = 0.38$) but not on the baseline task (+9.92 ms, $F(1, 85) = 1.05, p = 0.309, \eta^2p = 0.01$). No other effect or interaction was significant. The difference in response times after viewing compared to the baseline was not significantly different between groups for either the 2-back condition, $t(85) = -0.23, p = 0.820, d = -0.06, BF_{01} = 5.24$, or the 3-back condition, $t(85) = -0.50, p = 0.616, d = -0.12, BF_{01} = 4.77$. Thus, contrary to the hypothesis, viewing the negative video did not slowdown WM performance relative to viewing the neutral video.

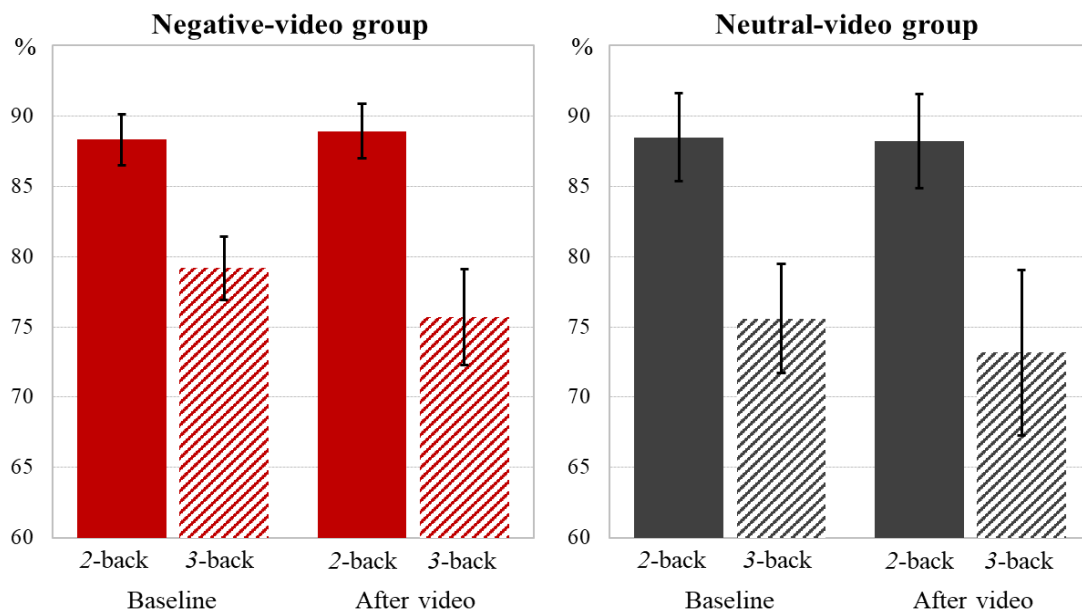
Table 1*Working Memory Performance by Group*

Measures	Negative video		Neutral video	
	2-back	3-back	2-back	3-back
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)
<i>Accuracy (%)</i>				
Baseline	88.3 (7.7)	79.2 (8.2)	88.5 (6.2)	75.6 (11.8)
After video	88.9 (8.5)	75.7 (12.9)	88.2 (5.8)	73.2 (16.4)
Difference ^a	+0.6 (10.3)	-3.5 (12.8)	-0.3 (5.9)	-2.4 (14.8)
<i>Reaction times (ms)</i>				
Baseline	712.3 (118.9)	727.6 (103.3)	699.6 (106.4)	704.2 (104.2)
After video	561.7 (182.0)	735.6 (181.2)	558.7 (156.8)	738.8 (246.3)
Difference ^a	-150.6 (170.5)	+8.1 (186.9)	-140.9 (176.9)	+34.6 (278.8)

Note. ^aDifference in performance after video – baseline.

Figure 3

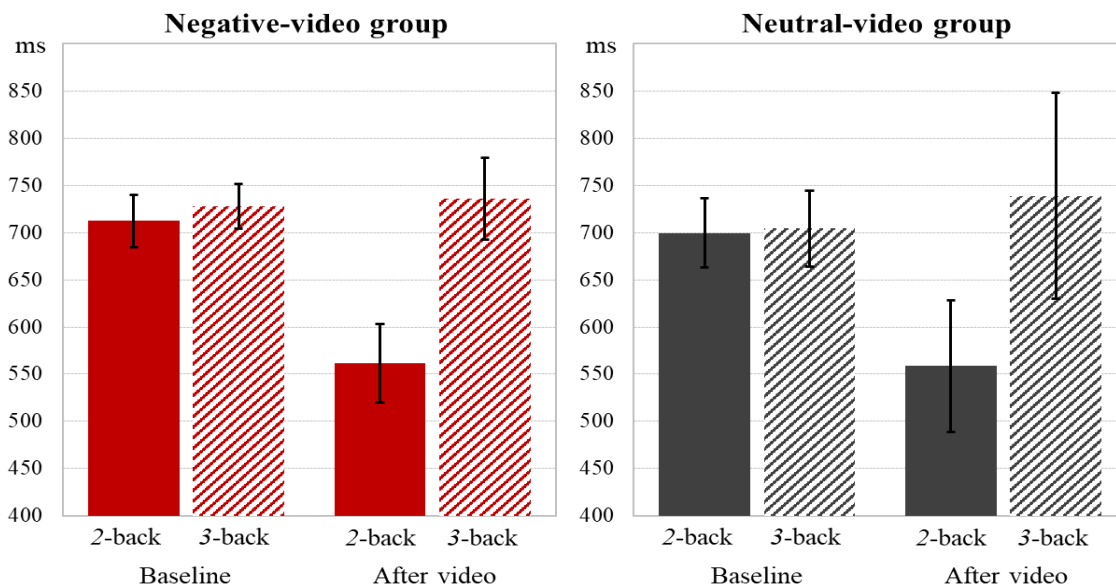
Means of % Accuracy at Baseline and After Viewing According to WM Load (2-back and 3-back), by Groups



Note. Error bars are between subject 95% confidence intervals.

Figure 4

Means of Reaction Time (ms) at Baseline and After Viewing According to WM Load (2-back and 3-back), by Groups



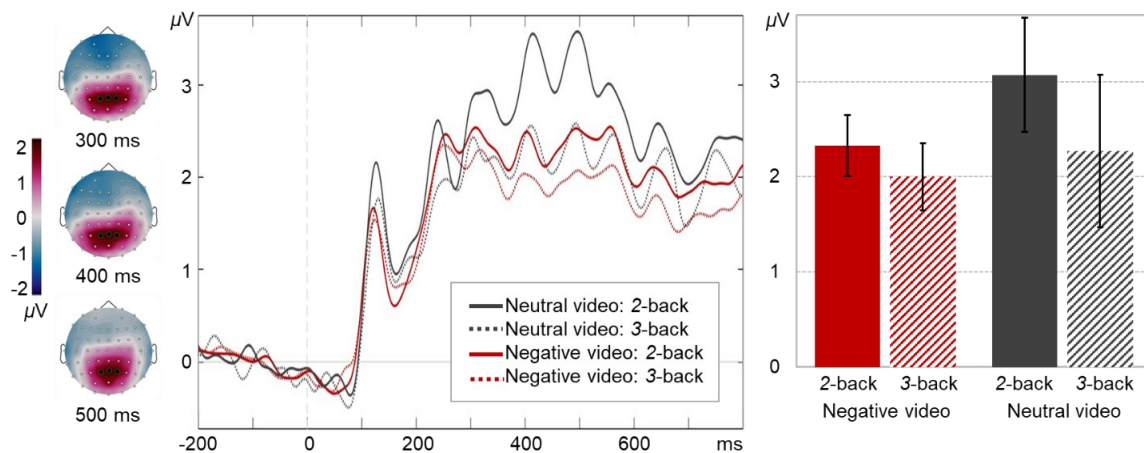
Note. Error bars are between subject 95% confidence intervals.

P300 Amplitude

ERP data were measured only on the second n -back task, performed in the laboratory, after watching the video. Average ERP waveforms for the two WM load conditions and the two groups are shown in Figure 5. As expected, P300 amplitude was smaller in the 3-back compared to the 2-back condition, $-0.53\mu\text{V}$, $F(1, 94) = 16.84$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.15$. The interaction between WM load and video group was significant, $F(1, 94) = 4.24$, $p = 0.042$, $\eta^2p = 0.04$.

Figure 5

Left: Topography for all participants and conditions. Middle: Variation of average ERP waveform on parietal position (Pz, P1, and P2) according to WM load and video groups. Right: Means for P300 amplitude (300-500ms at Pz, P1 and P2) for the two WM load conditions and the two groups (negative video $n = 74$, neutral video $n = 22$)



Note. Error bars are between subject 95% confidence intervals.

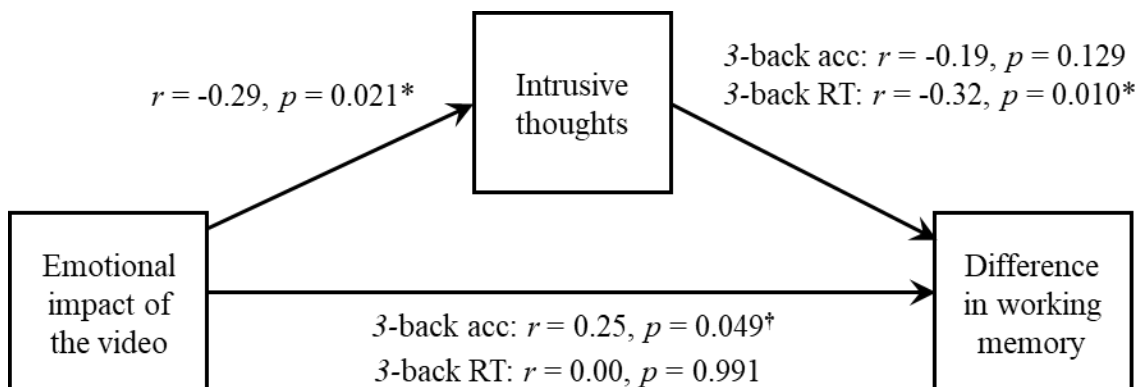
In the 2-back condition, P300 amplitude was lower for participants who watched the negative video than for participants who watched the neutral video, $-0.72\mu\text{v}$, $F(1, 94) = 3.97$, $p = 0.049$, $\eta^2\text{p} = 0.04$. In the 3-back condition, P300 amplitude did not differ between groups, $-0.19\mu\text{v}$, $F(1, 94) = 0.22$, $p = 0.638$, $\eta^2\text{p} < 0.01$. Thus, as hypothesized, viewing the negative video led to a lower P300 amplitude, compared to viewing the neutral video, but the effect was restrained to the low WM load condition. As a result, participants who watched the negative video showed a less pronounced difference between 2-back and 3-back conditions ($-0.26\mu\text{v}$, $F(1, 94) = 4.56$, $p = 0.035$, $\eta^2\text{p} = 0.05$) than participants who watched the neutral video ($-0.80\mu\text{v}$, $F(1, 94) = 12.32$, $p < 0.001$, $\eta^2\text{p} = 0.12$).

Correlational Results

As shown in Figure 6, the more negative participants' emotional state became after viewing the negative video (T2-T1), the less accurate they tended to be on the 3-back condition compared to the baseline (T2-T1). A more pronounced decrease in emotional state was associated with more frequent intrusive thoughts. More frequent intrusive thoughts was not significantly related to a decreased in WM accuracy, but it was related to a more pronounced slowdown in response times in the 3-back condition relative to the baseline (T2-T1). There was no significant associations between difference in 2-back accuracy or response times and the emotional impact of the video, nor intrusive thoughts.

A power analysis indicated insufficient power (0.52) for detecting a significant link between the emotional impact of the video and a WM accuracy difference (T2-T1). Based on our effect size (0.25), a post-hoc sample size calculation (with a power of 0.80 and an adjusted p -value of 0.022) showed that 153 participants would have been needed to detect a significant correlation between the emotional response and the 3-back accuracy difference (T2-T1).

We also examined the links between the emotional impact of the video, intrusive thoughts, and P300 amplitude (during the n -back task after viewing the video). Contrary to hypotheses, P300 amplitude was not related to the emotional impact of the negative video (2-back: $r = 0.10$, $p = 0.386$; 3-back: $r = -0.00$, $p = 0.985$), nor to the number of intrusive thoughts (2-back: $r = 0.10$, $p = 0.381$; 3-back: $r = -0.00$, $p = 0.988$).

Figure 6*Summary of Correlations Between Main Variables*

Note. * Holm-Bonferroni adjusted p value = 0.022.

Exploratory Analyses

We examined whether better preexisting WM capacity was related to less intrusive thoughts for participants who watched the negative video. The more accurate participants were in the baseline WM task, the fewer intrusive thoughts they reported after the video, $r = -0.23$, $p = 0.042$. Since there was a significant association between baseline WM accuracy and intrusive thoughts, we examined the relation between intrusive thoughts and WM accuracy after the negative video using partial correlation controlling for baseline WM. More frequent intrusive thoughts was correlated to a lower accuracy in the second 3-back condition, $r = -0.27$, $p = 0.033$ (controlled for baseline 3-back accuracy). Thus, after accounting for pre-existing WM capacity, experiencing more intrusive thoughts about the video was associated with a less accurate subsequent WM performance on the high WM load condition.

Discussion

The aim of this study was to empirically test the idea that experiencing a negative event leads to WM decrements. We hypothesized that viewing a negative video would lead to poorer WM performances and a lower P300 amplitude relative to viewing a neutral video. We further expected that intrusive thoughts would mediate the association between individual emotional reaction to the negative video and WM decrements. Contrary to our expectation, exposure to the negative video did not result in a significant decrease in WM accuracy or a slowdown in reaction times when compared to the neutral video. However, as hypothesized, viewing the negative video resulted in a reduced P300 amplitude relative to viewing the neutral video, but only in the low WM load condition. A stronger individual emotional response to the negative video tended to be associated with a poorer accuracy in the high WM load condition relative to the baseline. Additionally, a stronger emotional impact of the negative video was linked to more frequent intrusive thoughts, which, in turn, were associated with a more pronounced slowdown in response times in the high WM load condition. Since emotional responses and intrusive thoughts were related to different WM outcomes (accuracy and response times respectively), we did not conduct the mediation analysis.

The parietal P300 amplitude was significantly lower in the 3-back condition compared to the 2-back condition. This WM load effect aligns with previous EEG studies using the *n*-back task, which have demonstrated reduced P300 amplitudes under higher WM load conditions (e.g. Scharinger et al., 2017; Watter et al., 2001). When compared to

the neutral video, viewing the negative video led to a lower P300 amplitude in the 2-back condition, but not in the 3-back condition. Consequently, the WM load effect on P300 amplitude was less pronounced in the negative video group, suggesting a similar allocation of resources in both the 2-back and 3-back conditions. This finding is consistent with two previous studies that found a significant WM load effect on P300 amplitude in control groups but not in groups exposed to acute social stress (Trier Social Stress Test; Jiang & Rau, 2017) or to stressful movie clips (Zhang et al., 2015). This can be explained by dual competition model, which suggests that emotional and cognitive processes compete for limited neural resources (Pessoa, 2009). Processing emotional response may disrupt ongoing cognitive processes when cognitive resources are not fully engaged in a task, such as in the 2-back condition (Zhang et al., 2015). When more resources are needed to accomplish a task, as in the 3-back condition, the interference effect is diminished. The lower performance in the 3-back condition compared to the 2-back supports this argument: the 3-back required more cognitive resources, leading to greater difficulty in maintaining and updating information in WM, resulting in higher error rates and slower reaction times. The impact of negative emotions on WM is therefore not constant, as it depends on the complexity of the task. Future research should investigate this relationship further by incorporating WM tasks that assess more varied levels of difficulty.

Another possible explanation for the diminished impact of negative exposure on P300 amplitude in the 3-back versus 2-back condition could rely only on timing. The 3-back condition was performed after the 2-back and therefore more time had passed since the

video was viewed. A study alternating between 2-back and 3-back conditions to vary WM load over time found that inducing psychosocial stress impaired performance only in the first block of each difficulty level, compared to a control group (Schoofs et al., 2008). This suggests that as the task progressed, the effects of stress on WM diminished. Future studies should verify whether this effect also extends to P300 amplitude by alternating between different levels of WM load or by counterbalanced conditions across participants.

ERP is a finer measure of WM functioning than behavioral outcomes and appears to be more sensitive to the impact of negative emotions. While prior exposure to emotionally negative content disrupted WM neurocognitive processes, this disruption did not manifest in poorer behavioral performances. Indeed, unlike several previous experimental studies (e.g., Choi et al., 2013; Jiang & Rau, 2017; Long et al., 2020), but similarly to others (e.g., Chepenik et al., 2007; Grimm et al., 2012), we found no significant differences in behavioral WM performance after exposure to negative versus neutral videos. Our findings, showing differential effects on ERP and behavioral measures, align with a previous study that reported a reduced P3b amplitude during a WM task in a negative emotional context compared to a neutral one, despite no difference in behavioral performance (Li et al., 2010). The absence of associated behavioral effects could be due to the low emotional significance of the negative video, leading to only minimal prioritization of cognitive resources, which is only detectable through ERP. Change in P300 amplitude was not related to the extent of the reported emotional impact of the negative video, nor to the frequency of intrusive thoughts. Since these are subjective

measures, it is possible that they do not fully capture the underlying neural processes or implicit emotional responses. The possibility to differentiate neurocognitive and behavioral outcomes highlights the relevance of including ERP measures in research on the mechanisms involved in the impact of emotions on WM.

While ERPs provide insight into the immediate, underlying neurocognitive processes impacted by emotional states, behavioral measures reflect the outcome of these processes. Increased activity in the parietal cortex (indexed by a reduced P300 amplitude) may represent the neurocognitive attempt to inhibit attention to emotional distractors and/or control the emotional reactions caused by the earlier negative exposure (Schweizer et al., 2019). Cognitive control models of emotion regulation involve areas of the fronto-parietal control network, which include parietal regions, important areas in selective attention and WM updating (Ochsner et al., 2012). The lack of significant behavioral impacts despite increased activity in parietal regions suggests that neurocognitive control is effective in reducing the influence of emotional exposure on WM performance in non-clinical participants (Schweizer et al., 2019). Future research should explore the mechanisms underlying the dissociation between neurocognitive and behavioral effects more deeply. For instance, manipulating the salience of stimuli, both cognitively (e.g. by increasing the frequency of distractors) and emotionally (e.g. by varying intensity or arousal) could provide further insights on whether the effect is primarily cognitive (inhibition) or affective (emotional regulation). If cognitive processes are the key factor, the task should become more difficult as the frequency of distractors increases. Inversely, if the effect

results more from emotional regulation, performance should decrease as the emotional intensity of the stimuli increases.

Although individual emotional reactions and intrusive thoughts were not associated with a reduced P300 amplitude, they were linked to poorer WM performance. Indeed, we found that a stronger emotional response to the negative video tended to be associated with lower WM accuracy in the high WM load condition. Thus, the fact that WM performance was not significantly different, on average, following a negative and neutral video, does not mean that exposure to negative content had no impact on WM. Rather, it means that the impact was not substantial for most participants, which is a good thing. Nevertheless, our results suggest that the individuals who are more sensitive to the emotional content may see their WM be impacted, particularly when the task is cognitively more demanding. This is consistent with a study showing that individuals who were more susceptible to anxiety (high anxiety traits) are more impacted by an induced unpleasant emotional state on an updating WM task (Figueira et al., 2017). This consideration of individual sensitivity to emotionally negative stimuli is a strength of our design, and our results highlight the relevance of taking this into account in future research.

A stronger emotional impact of the negative video was also associated with more frequent intrusive thoughts, which in turn, were linked to a more pronounced slowdown in response times under the high WM load condition. Moreover, after accounting for pre-

existing WM capacity, experiencing more frequent intrusive thoughts was linked to less accurate post-video WM performance, in the high load condition. This finding underscores the importance of considering pre-existing WM capacity when examining the link between intrusive thoughts and WM. Previous research showed that individuals who have better WM skills experience less frequent intrusive thoughts (Bomyea & Amir, 2011; Brewin & Smart, 2005; Curci et al., 2013; Streb et al., 2016; Verwoerd et al., 2008; Wessel et al., 2008). Our results align with this by showing that participants who had better pre-existing WM capacity reported less intrusive thoughts following the negative video. Therefore, while better WM capacity is linked to more effective inhibition of intrusive thoughts, it does not exclude the fact that intrusive thoughts also disrupt WM processes, particularly during tasks that are more demanding. Indeed, our behavioral findings were specific to the high WM load condition, similarly to other studies showing that the effects of stress on WM were significantly stronger on higher than lower cognitive loads tasks (for a meta-analysis: Shields et al., 2016). Thus, emotional state and intrusive thoughts both affect WM, specifically in more difficult tasks.

This study has some limitations that should be mentioned. First, though the trauma film paradigm is useful for studying emotional exposure in a prospective controlled setting, its results have restricted applicability to real-life situations. Real-life events are embedded in a personal context and have a greater emotional impact because they are personally relevant to the individuals. A negative video lacks this personal connection, and the emotional response may be less intense or of a different nature. This emphasizes

the importance of considering individual sensitivity to emotionally negative stimuli in such an experimental design. Second, we relied only on a subjective measure of emotional reactions. Self-reported emotions are susceptible to various biases potentially leading participants to under or over report their emotional reactions (Mauss & Robinson, 2009). Third, due to the duration of an EEG experiment, baseline measure of ERP was not included, leaving the potential influence of individual differences unaccounted for. Finally, some of our correlational results must be interpreted with caution due to a lack of statistical power. Future studies should aim to replicate these findings with larger samples.

Interesting future directions would be to explore the effects of prior emotional exposure on WM using different tasks and EEG analysis approaches. For instance, visual WM tasks, such as the change detection paradigm (participants memorize a set of visual items and then try to detect changes after a retention period), allow using the contralateral delay activity (CDA) as a neural measure of WM processes (e.g. Luria et al., 2016). The CDA is a sustained negative ERP that arises during the maintenance phase in the parietal-occipital region opposite to the side of the memorized items. The amplitude of the CDA increase with the number of items maintained in memory (e.g. Luria et al., 2016). During a change detection task, CDA amplitude increased from 2 to 4 items in a neutral emotional state but did not increase with set size in an unpleasant emotional state (Figueira et al., 2017). This suggests that the expected increase in CDA amplitude from 2 to 4 items is disrupted by negative emotions. This finding is quite consistent with what we observed regarding P300 amplitude in our study. It would be interesting in future studies to examine

whether CDA amplitude could be related to intrusive thoughts. Another promising avenue would be to use EEG decoding to explore further how emotional states, WM load and intrusive thoughts influence the patterns of EEG signals (oscillatory activity, e.g. Bae & Luck, 2018).

In summary, while the negative video did not directly impair behavioral WM performance relative to the neutral video, it did influence neural correlates of cognitive processing. The reduction in P300 amplitude suggests that emotional content can interfere with WM resources, but this effect is more pronounced under lower cognitive demands. In contrast, relationships between emotional impact, intrusive thoughts, and WM are behaviorally significant under high cognitive demands. This suggests a complex interaction between emotional and cognitive processes, where the influence of negative emotions on WM may depend on both the individual sensitivity and the cognitive load. Our study also shed light on the causal relationship between WM and intrusive thoughts. When controlling pre-existing WM capacity, those who reported more frequent intrusive thoughts showed poorer subsequent WM performance on a more cognitively demanding task. Taking together, these findings highlight the importance of considering the cognitive load, individual emotional reactions and pre-existing capacity when assessing the effects of emotion on cognition.

References

- American Psychiatric Association. (2013). *DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *49*(1), 5-28. <https://doi.org/10.1080/713755608>
- Bae, G. Y., & Luck, S. J. (2018). Dissociable decoding of spatial attention and working memory from EEG oscillations and sustained potentials. *Journal of Neuroscience*, *38*(2), 409-422. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2860-17.2017>
- Bartlett, M. S. (1947). The use of transformations. *Biometrics*, *3*(1), 39-52. <https://doi.org/10.2307/3001536>
- Blanchette, I., & Caparos, S. (2016). Working memory function is linked to trauma exposure, independently of post-traumatic stress disorder symptoms. *Cognitive Neuropsychiatry*, *21*(6), 494-509. <https://doi.org/10.1080/13546805.2016.1236015>
- Bomyea, J., & Amir, N. (2011). The effect of an executive functioning training program on working memory capacity and intrusive thoughts. *Cognitive Therapy and Research*, *35*(6), 529-535. <https://doi.org/10.1007/s10608-011-9369-8>
- Bomyea, J., Amir, N., & Lang, A. J. (2012). The relationship between cognitive control and posttraumatic stress symptoms. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *43*(2), 844-848. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2011.12.001>
- Brewin, C. R., & Smart, L. (2005). Working memory capacity and suppression of intrusive thoughts. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *36*(1), 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2004.11.006>
- Brunet, A., St-Hilaire, A., Jehel, L., & King, S. (2003). Validation of a French version of the impact of event scale-revised. *The Canadian Journal of Psychiatry*, *48*(1), 56-61. <https://doi.org/10.1177/070674370304800111>
- Calamia, M., Markon, K., & Tranel, D. (2012). Scoring higher the second time around: Meta-analyses of practice effects in neuropsychological assessment. *The Clinical Neuropsychologist*, *26*(4), 543-570. <https://doi.org/10.1080/13854046.2012.680913>
- Chen, Y. N., Mitra, S., & Schlaghecken, F. (2008). Sub-processes of working memory in the N-back task: An investigation using ERPs. *Clinical Neurophysiology*, *119*(7), 1546-1559. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.03.003>

- Chepenik, L. G., Cornew, L. A., & Farah, M. J. (2007). The influence of sad mood on cognition. *Emotion, 7*(4), 802-811. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.4.802>
- Choi, M.-H., Min, Y.-K., Kim, H.-S., Kim, J.-H., Yeon, H.-W., Choi, J.-S., & Chung, S.-C. (2013). Effects of three levels of arousal on 3-back working memory task performance. *Cognitive Neuroscience, 4*(1), 1-6. <https://doi.org/10.1080/17588928.2011.634064>
- Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2024a). Validation of a trauma film: Emotional responses, intrusive memories and concept activations. *Cognitive Therapy and Research, 49*, 403-414. <https://doi.org/10.1007/s10608-024-10539-0>
- Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2024b). An investigation of the mechanisms underlying the link between abstract reasoning and intrusive memories: A trauma analogue study. *Consciousness and Cognition, 117*, Article 103609. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2023.103609>
- Curci, A., Lanciano, T., Soleti, E., & Rimé, B. (2013). Negative emotional experiences arouse rumination and affect working memory capacity. *Emotion, 13*(5), 867-880. <https://doi.org/10.1037/a0032492>
- Davies, M. I., & Clark, D. M. (1998). Predictors of analogue post-traumatic intrusive cognitions. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy, 26*(4), 303-314. <https://doi.org/10.1017/S1352465898264022>
- Ehlers, A., & Clark, D. M. (2000). A cognitive model of posttraumatic stress disorder. *Behaviour Research and Therapy, 38*(4), 319-345. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(99\)00123-0](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(99)00123-0)
- El-Hage, W., Gaillard, P., Isingrini, M., & Belzung, C. (2006). Trauma-related deficits in working memory. *Cognitive Neuropsychiatry, 11*(1), 33-46. <https://doi.org/10.1080/13546800444000164>
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science, 11*(1), 19-23. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00160>
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition & Emotion, 6*(6), 409-434. <https://doi.org/10.1080/02699939208409696>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical

- sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
- Figueira, J. S., Oliveira, L., Pereira, M. G., Pacheco, L. B., Lobo, I., Motta-Ribeiro, G. C., & David, I. A. (2017). An unpleasant emotional state reduces working memory capacity: Electrophysiological evidence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(6), 984-992. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx030>
- Fuge, P., Aust, S., Fan, Y., Weigand, A., Gärtner, M., Feeser, M., Bajbouj, M., & Grimm, S. (2014). Interaction of early life stress and corticotropin-releasing hormone receptor gene: Effects on working memory. *Biological Psychiatry*, 76(11), 888-894. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.04.016>
- García, L. V. (2004). Escaping the Bonferroni iron claw in ecological studies. *Oikos*, 105(3), 657-663. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13046.x>
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, 10(9), 829-839. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.9.829>
- Gevins, A., Smith, M. E., Le, J., Leong, H., Bennett, J., Martin, N., McEvoy, L., Du, R., & Whitfield, S. (1996). High resolution evoked potential imaging of the cortical dynamics of human working memory. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 98(4), 327-348. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(96\)00288-X](https://doi.org/10.1016/0013-4694(96)00288-X)
- Goodman, J. B., Freeman, E. E., & Chalmers, K. A. (2019). The relationship between early life stress and working memory in adulthood: A systematic review and meta-analysis. *Memory*, 27(6), 868-880. <https://doi.org/10.1080/09658211.2018.1561897>
- Grimm, S., Weigand, A., Kazzner, P., Jacobs, A. M., & Bajbouj, M. (2012). Neural mechanisms underlying the integration of emotion and working memory. *NeuroImage*, 61(4), 1188-1194. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.004>
- Grissmann, S., Faller, J., Scharinger, C., Spüler, M., & Gerjets, P. (2017). Electroencephalography based analysis of working memory load and affective valence in an n-back task with emotional stimuli. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, Article 616. <https://doi.org/110.3389/fnhum.2017.00616>
- Hagenaars, M. A., Brewin, C. R., van Minnen, A., Holmes, E. A., & Hoogduin, K. A. (2010). Intrusive images and intrusive thoughts as different phenomena: Two experimental studies. *Memory*, 18(1), 76-84. <https://doi.org/10.1080/09658210903476522>

- Hayes, A. F. (2017). *Introduction to mediation, moderation, and conditional process analysis: A regression-based approach*. Guilford Press.
- Holmes, E. A., & Bourne, C. (2008). Inducing and modulating intrusive emotional memories: A review of the trauma film paradigm. *Acta Psychologica, 127*(3), 553-566. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.11.002>
- Horowitz, M. J. (1975). Intrusive and repetitive thoughts after experimental stress. *Archives of General Psychiatry, 32*(11), 1457-1463. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.1975.01760290125015>
- James, E. L., Lau-Zhu, A., Clark, I. A., Visser, R. M., Hagenaaers, M. A., & Holmes, E. A. (2016). The trauma film paradigm as an experimental psychopathology model of psychological trauma: Intrusive memories and beyond. *Clinical Psychology Review, 47*, 106-142. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.04.010>
- Jiang, C., & Rau, P. L. P. (2017). Working memory performance impaired after exposure to acute social stress: The evidence comes from ERPs. *Neuroscience Letters, 658*, 137-141. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.08.054>
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology, 55*(4), 352-358. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
- Klein, K., & Boals, A. (2001). The relationship of life event stress and working memory capacity. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition, 15*(5), 565-579. <https://doi.org/10.1002/acp.727>
- Koster, E. H., De Lissnyder, E., Derakshan, N., & De Raedt, R. (2011). Understanding depressive rumination from a cognitive science perspective: The impaired disengagement hypothesis. *Clinical Psychology Review, 31*(1), 138-145. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.08.005>
- Kulikowski, K., & Potasz-Kulikowska, K. (2016). Can we measure working memory via the Internet?: The reliability and factorial validity of an online n-back task. *Polish Psychological Bulletin, 47*(1), 51-61. <https://doi.org/10.1515/ppb-2016-0006>
- Li, X., Chan, R. C., & Luo, Y. J. (2010). Stage effects of negative emotion on spatial and verbal working memory. *BMC Neuroscience, 11*, Article 60. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-11-60>
- Li, X., Li, X., & Luo, Y. J. (2006). Differential influences of negative emotion on spatial and verbal working memory: Evidence from event-related potential and source

- current density analysis. *Neuroreport*, *17*(14), 1555-1559. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000234744.50442.2b>
- Long, F., Ye, C., Li, Z., Tian, Y., & Liu, Q. (2020). Negative emotional state modulates visual working memory in the late consolidation phase. *Cognition and Emotion*, *34*(8), 1646-1663. <https://doi.org/10.1080/02699931.2020.1795626>
- Luria, R., Balaban, H., Awh, E., & Vogel, E. K. (2016). The contralateral delay activity as a neural measure of visual working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *62*, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.01.003>
- Mauss, I. B., & Robinson, M. D. (2009). Measures of emotion: A review. *Cognition and Emotion*, *23*(2), 209-237. <https://doi.org/10.1080/02699930802204677>
- McEvoy, L. K., Smith, M. E., & Gevins, A. (1998). Dynamic cortical networks of verbal and spatial working memory: Effects of memory load and task practice. *Cerebral cortex (New York, NY: 1991)*, *8*(7), 563-574. <https://doi.org/10.1093/cercor/8.7.563>
- Miller, A. E., Watson, J. M., & Strayer, D. L. (2012). Individual differences in working memory capacity predict action monitoring and the error-related negativity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *38*(3), 757-763. <https://doi.org/10.1037/a0026595>
- Nixon, R. D. V., Cain, N., Nehmy, T., & Seymour, M. (2009). Does post-event cognitive load undermine thought suppression and increase intrusive memories after exposure to an analogue stressor? *Memory*, *17*(3), 245-255. <https://doi.org/10.1080/09658210802592353>
- Ochsner, K. N., Silvers, J. A., & Buhle, J. T. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: A synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1251*(1), E1-E24. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06751.x>
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control?. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(4), 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.006>
- Plancher, G., Massol, S., Dorel, T., & Chainay, H. (2019). Effect of negative emotional content on attentional maintenance in working memory. *Cognition and Emotion*, *33*(7), 1489-1496. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1561420>
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128-2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>

- Ribeiro, F. S., Santos, F. H., & Albuquerque, P. B. (2019). How does allocation of emotional stimuli impact working memory tasks? An overview. *Advances in Cognitive Psychology, 15*(2), 155-168. <https://doi.org/10.5709/acp-0265-y>
- Scharinger, C., Soutschek, A., Schubert, T., & Gerjets, P. (2017). Comparison of the working memory load in n-back and working memory span tasks by means of EEG frequency band power and P300 amplitude. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*, Article 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00006>
- Schoemann, A. M., Boulton, A. J., & Short, S. D. (2017). Determining power and sample size for simple and complex mediation models. *Social Psychological and Personality Science, 8*(4), 379-386. <https://doi.org/10.1177/1948550617715068>
- Schoofs, D., Preuß, D., & Wolf, O. T. (2008). Psychosocial stress induces working memory impairments in an n-back paradigm. *Psychoneuroendocrinology, 33*(5), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.02.004>
- Schweizer, S., Satpute, A. B., Atzil, S., Field, A. P., Hitchcock, C., Black, M., Barrett, L. F., & Dalgleish, T. (2019). The impact of affective information on working memory: A pair of meta-analytic reviews of behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Bulletin, 145*(6), 566-609. <https://doi.org/10.1037/bul0000193>
- Seibert, P. S., & Ellis, H. C. (1991). Irrelevant thoughts, emotional mood states, and cognitive task performance. *Memory & Cognition, 19*(5), 507-513. <https://doi.org/10.3758/BF03199574>
- Shields, G. S., Sazma, M. A., & Yonelinas, A. P. (2016). The effects of acute stress on core executive functions: A meta-analysis and comparison with cortisol. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 68*, 651-668. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.038>
- Stein, M. B., Kennedy, C. M., & Twamley, E. W. (2002). Neuropsychological function in female victims of intimate partner violence with and without posttraumatic stress disorder. *Biological Psychiatry, 52*(11), 1079-1088. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(02\)01414-2](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(02)01414-2)
- Stout, D. M., Bomyea, J., Risbrough, V. B., & Simmons, A. N. (2020). Aversive distractors modulate affective working memory in frontoparietal regions. *Emotion, 20*(2), 286-295. <https://doi.org/10.1037/emo0000544>
- Stout, D. M., Shackman, A. J., Johnson, J. S., & Larson, C. L. (2015). Worry is associated with impaired gating of threat from working memory. *Emotion, 15*(1), 6-11. <https://doi.org/10.1037/emo0000015>

- Streb, M., Mecklinger, A., Anderson, M. C., Lass-Hennemann, J., & Michael, T. (2016). Memory control ability modulates intrusive memories after analogue trauma. *Journal of Affective Disorders, 192*, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2015.12.032>
- Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M. (2011). Brainstorm: A user-friendly application for MEG/EEG analysis. *Computational Intelligence and Neuroscience, 2011*, Article 879716. <https://doi.org/10.1155/2011/879716>
- Uitenbroek, D. G. (1997). SISA binomial. *Southampton: DG Uitenbroek*. Retrieved January, 1, 2014. <https://www.quantitativeskills.com/sisa/distributions/binomial.htm>
- Verwoerd, J., de Jong, P. J., & Wessel, I. (2008). Low attentional control and the development of intrusive memories following a laboratory stressor. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment, 30*(4), 291-297. <https://doi.org/10.1007/s10862-008-9080-6>
- Voss, M., Ehring, T., & Wolkenstein, L. (2019). Does transcranial direct current stimulation affect Post-stressor intrusive memories and rumination? An experimental analogue study. *Cognitive Therapy and Research, 43*(3), 535-549. <https://doi.org/10.1007/s10608-018-9976-8>
- Watter, S., Geffen, G. M., & Geffen, L. B. (2001). The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention. *Psychophysiology, 38*(6), 998-1003. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3860998>
- Weathers, F. W., Litz, B. T., Keane, T. M., Palmieri, P. A., Marx, B. P., & Schnurr, P. P. (2013). *The PTSD checklist for DSM-5 (PCL-5)*. <https://www.ptsd.va.gov/professional/assessment/adult-sr/ptsd-checklist.asp>
- Weber, D. L., Clark, C. R., McFarlane, A. C., Moores, K. A., Morris, P., & Egan, G. F. (2005). Abnormal frontal and parietal activity during working memory updating in post-traumatic stress disorder. *Psychiatry Research: Neuroimaging, 140*(1), 27-44. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2005.07.003>
- Wessel, I., Overwijk, S., Verwoerd, J., & de Vrieze, N. (2008). Pre-stressor cognitive control is related to intrusive cognition of a stressful film. *Behaviour Research and Therapy, 46*(4), 496-513. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2008.01.016>
- Woud, M. L., Heeren, A., Shkreli, L., Meyer, T., Egeri, L., Cwik, J. C., Zlomuzica, A., Kessler, H., & Margraf, J. (2019). Investigating the effect of proactive interference control training on intrusive memories. *European Journal of Psychotraumatology, 10*(1), Article 1601092. <https://doi.org/10.1080/20008198.2019.1611092>

- Zetsche, U., Bürkner, P. C., & Schulze, L. (2018). Shedding light on the association between repetitive negative thinking and deficits in cognitive control – A meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 63, 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2018.06.001>
- Zhang, Y., Luo, Y., Diao, S.Y., & Li, H. (2015). The acute stress interference effect on working memory depends on load: Electrophysiological evidences. *Journal of Psychological Science*, 38(1), 42-7.
- Zickerick, B., Thönes, S., Kobald, S. O., Wascher, E., Schneider, D., & Küper, K. (2020). Differential effects of interruptions and distractions on working memory processes in an ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 84. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00084>

Discussion générale

L'objectif général de cette thèse était d'explorer les mécanismes sous-jacents aux interactions entre le fonctionnement cognitif et les conséquences de l'exposition au trauma. Ce travail a permis de mieux comprendre comment des facteurs cognitifs préexistants (capacités de raisonnement, de mémoire de travail), pendant l'évènement (processus de traitement perceptuel) et après l'évènement (contrôle attentionnel, mémoire de travail, mémoire implicite) peuvent être liés aux intrusions. Ces mesures prises avant et après l'exposition à un trauma analogue ont permis de clarifier la nature des liens entre le fonctionnement cognitif et la fréquence des intrusions. Les données électroencéphalographiques (EEG) ont permis d'identifier des mécanismes cérébraux spécifiques par lesquels ces liens s'opèrent. Cette discussion présente une synthèse des résultats des trois études. Puis, les principales conclusions sont discutées en lien avec les fondements conceptuels et empiriques présentés en introduction. Enfin, les forces et les limites de la démarche de recherche, ainsi que les recommandations pour les études futures sont exposées.

Synthèse des résultats

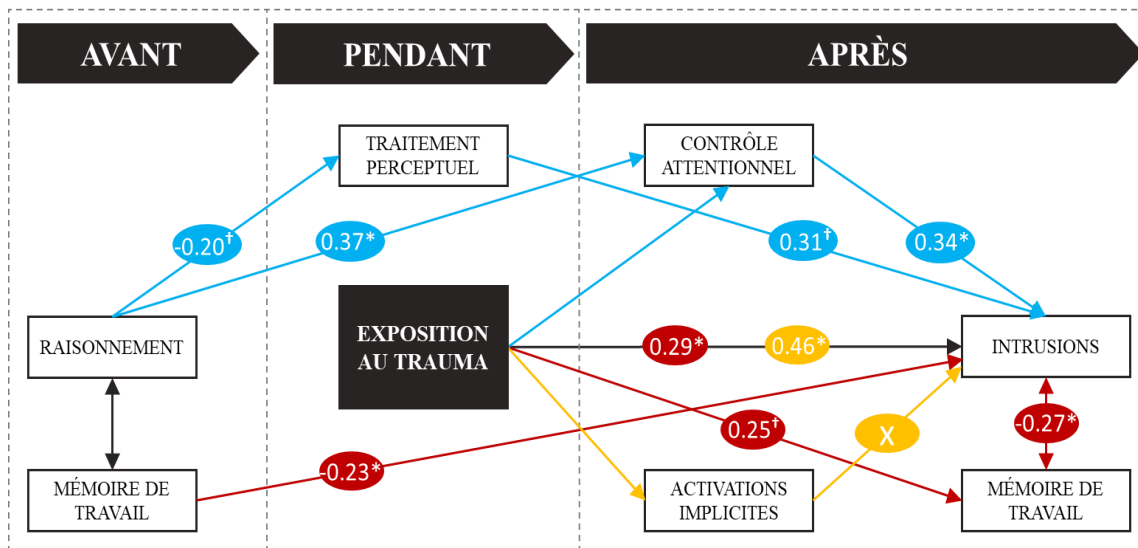
La Figure 2 présente une synthèse des résultats obtenus dans les trois études. L'étude 1 avait pour objectif de valider un montage vidéo d'accidents de la route pour être utilisée en tant que paradigme de trauma analogue et une tâche de décision lexicale comme mesure de la mémoire implicite. Les résultats ont permis de confirmer que ce film induit

effectivement des émotions négatives et des intrusions, à la fois immédiatement après le visionnement et durant les quelques jours suivants. Ces deux mesures d'intrusions sont par ailleurs fortement corrélées, ce qui suggère que la mesure immédiate peut constituer une alternative utile au journal d'intrusions sur plusieurs jours. Un schéma par ailleurs conforme aux données cliniques montrant que les symptômes immédiats (particulièrement d'intrusions et d'hyperréactivité) prédisent la sévérité du TSPT après 6 mois (Bryant et al., 2017). Les résultats ont aussi confirmé que le trauma analogue entraîne une activation implicite en mémoire de concepts qui lui sont associés. Cela a été démontré par des réponses plus rapides pour identifier les mots liés au film par rapport à d'autres mots négatifs et neutres non-reliés dans une tâche de décision lexicale. Cet effet se trouvait uniquement chez les participants exposés au trauma analogue et non chez les participants ayant visionné un film neutre.

L'objectif de l'étude 2 était d'explorer le lien entre le raisonnement abstrait et les intrusions ainsi que les mécanismes neurocognitifs sous-tendant cette relation (traitement perceptuel mesuré par l'EEG et biais attentionnel). Un raisonnement abstrait non-verbal plus faible tendait à être associé à un traitement perceptuel accru (plus grande amplitude de la composante P1), lequel était lié à des intrusions plus fréquentes, mais seulement chez les plus jeunes participants. Un plus grand biais attentionnel était associé à davantage d'intrusions, mais seulement chez les femmes. Contrairement aux études antérieures, le raisonnement abstrait n'était pas directement corrélé aux intrusions.

Figure 2

Schéma résumant les principales corrélations entre les variables examinées dans les trois études (étude 1 en jaune, étude 2 en bleu, étude 3 en rouge)



Note. Les résultats doivent être interprétés selon les conditions d'analyses spécifiques décrites dans les publications associées.

L'étude 3 visait à examiner l'impact causal de l'exposition au trauma analogue sur la mémoire de travail, aux mécanismes neurocognitifs par lequel cet effet se produit (mesurée par l'EEG) et au rôle des intrusions dans cet impact. Contrairement à ce qui était attendu, l'exposition au trauma analogue n'a pas entraîné de diminution significative de la performance de la mémoire de travail (précision et temps de réponse) comparée à l'exposition à un film neutre. Toutefois, le trauma analogue a perturbé les processus neurocognitifs de la mémoire de travail, tel qu'observé par une réduction de l'amplitude de la P300, dans la condition de faible charge cognitive. Dans la condition de charge élevée, une plus forte réaction émotionnelle autorapportée et un plus grand nombre

d'intrusions étaient associés à une moindre performance, et ce, en prenant en compte la capacité de mémoire de travail préexistante.

Intégration des résultats

Pour mettre de l'avant les contributions majeures de cette thèse sans reprendre individuellement les conclusions telles que discutées dans chaque article, la section suivante présente une intégration des résultats s'articulant autour des thèmes suivant : le rôle des processus de traitement perceptuel, les facteurs individuels préexistants sur le plan cognitif qui influencent les réactions au trauma, les impacts cognitifs de l'exposition au trauma; les effets différenciés de la facilitation et de l'interférence sur les intrusions et les différences selon le genre.

Rôle des processus de traitement perceptuel

La première contribution majeure de cette thèse est la démonstration d'un lien entre les processus de traitement perceptuel lors d'un événement émotionnel et les intrusions rapportées dans les jours suivants. En effet, l'étude 2 apporte un soutien aux modèles théoriques selon lesquels les intrusions (et plus largement le TSPT) s'expliqueraient par le caractère sensoriel-perceptuel des processus mnésiques (Brewin, 2014; Brewin et al., 2010; Ehlers & Clark, 2000). Les participants dont l'activité occipitale était plus marquée 100 ms après la présentation des images (régions et moment où le cerveau traite les informations perceptuelles visuelles) ont rapporté marginalement plus d'intrusions. Bien que ces résultats ne permettent pas d'affirmer avec certitude que le film lui-même a été

traité et encodé de manière plus perceptuelle, ils indiquent que le niveau d'engagement du système sensoriel visuel peu après l'exposition à un événement émotionnel influence la survenue ultérieure d'intrusions. Cette tendance suggère que le degré de traitement perceptuel lors des premières étapes de consolidation en mémoire favorise la résurgence involontaire de souvenirs de l'évènement. La raison pour laquelle cet effet n'a été observé que chez les plus jeunes participants reste incertaine.

Ce résultat est cohérent avec des études antérieures montrant qu'un style de traitement plus perceptuel (évalué à l'aide de questionnaires) est associé à une fréquence accrue d'intrusions après un trauma analogue (Halligan et al., 2002; Laposa & Rector, 2012; Sündermann et al., 2013). Ce résultat est également similaire à des études de neuroimagerie montrant qu'un traitement visuel accru lors de l'encodage d'un trauma analogue est associé aux intrusions rapportées ultérieurement (Bourne et al., 2013; Clark et al., 2016). Mises ensemble ces conclusions mettent en évidence l'implication du traitement perceptuel dans le développement ultérieur des intrusions. Tel que présenté en introduction, puisque la mémoire est malléable pendant quelques heures après l'encodage (Nader et al., 2000), il serait pertinent d'intervenir rapidement après un trauma sur la consolidation de ces souvenirs, notamment en ciblant les circuits neuronaux impliqués dans le traitement perceptuel (Ressler et al., 2022; Ressler & Mayberg, 2007). Ce point est approfondi dans les recommandations.

Le rôle des processus perceptuels est également appuyé par les résultats montrant que l'exposition à un trauma analogue, par rapport à un film neutre, entraîne un biais attentionnel *perceptuel* envers des images qui y sont reliées. En effet, des stimuli ressemblant visuellement au trauma analogue interfèrent avec les processus attentionnels (ralentissement des temps de réponse). L'utilisation d'images apparaît donc plus sensible et spécifique que l'utilisation de mots. En effet, les études précédentes ayant employé une tâche de Stroop émotionnelle avec des mots après des films négatifs et neutres montraient une interférence aussi bien pour les mots liés au film négatif que pour ceux liés au film neutre (Grégoire et al., 2021; Leblanc-Sirois et al., 2021). Cela suggérait que le souvenir d'un événement, peu importe sa valence émotionnelle, induit un biais attentionnel envers des informations *sémantiquement* associées. En revanche, les résultats de la présente thèse montrent que seul un événement émotionnel entraîne un biais attentionnel envers des stimuli *perceptuellement* similaires, et ce, même chez des personnes sans TSPT. Tel que présenté en introduction, ce type d'association entre les stimuli rappelant le trauma et le trauma lui-même peut être adaptatif, car il permet d'anticiper les événements futurs et de réagir de manière appropriée. Cependant, lorsque ce mécanisme se dérègle, des stimuli initialement neutres, mais perçus comme similaires au trauma déclenchent des intrusions et des réactions d'hypervigilance inappropriées (Ehlers et al., 2004; Michael et al., 2005b). En somme, une attention accrue à ces stimuli a priori non-menaçants, mais partageant une similarité perceptuelle avec le trauma, sont donc liés aux symptômes d'intrusions.

Ce degré de biais attentionnel perceptuel était lié aux intrusions rapportées ultérieurement (chez les femmes). Autrement dit, une attention accrue portée à des informations visuelles rappelant l'évènement semble jouer un rôle dans la résurgence involontaire de souvenirs de cet évènement. Ce résultat appuie la théorie sur l'amorçage perceptuel suggérant que les stimuli présents pendant le trauma bénéficient d'un avantage de traitement lorsqu'ils sont rencontrés de nouveau ultérieurement et peuvent déclencher des intrusions (Ehlers et al., 2006; Michael & Ehlers, 2007; Michael et al., 2005b). Cela est compatible avec les observations que les personnes atteintes de TSPT éprouvent des difficultés à moduler leur attention face à des stimuli rappelant le trauma (Lazarov et al., 2019; Olatunji et al., 2013; Veerapa et al., 2023). Par exemple, une étude combinant une mesure de traçage oculaire à une tâche attentionnelle émotionnelle a montré que le temps de fixation sur des images négatives (par rapport à des neutres) était plus marqué chez les individus atteints de TSPT, comparé à des individus exposés au trauma sans TSPT et des individus non-exposés au trauma (Veerapa et al., 2023). En somme, ces conclusions renforcent l'idée qu'une difficulté à contrôler son attention pour la détourner des stimuli rappelant le trauma semble être un mécanisme impliqué dans les symptômes d'intrusions. La contribution de la présente thèse réside dans la spécification de la nature perceptuelle de cet effet (utilisation d'images plutôt que de mots). Il est important de souligner que l'association entre le biais attentionnel et les intrusions n'a été observée que chez les femmes. Ce point est discuté plus en détail plus bas. Par ailleurs, les habiletés de contrôle attentionnel n'ont pas été mesurées avant l'exposition, laissant l'effet des différences individuelles préexistantes inconnues.

Fonctionnement cognitif préexistant influence les réactions au trauma

La présente thèse s'ajoute aux travaux antérieurs appuyant le fait que les différences individuelles sur le plan cognitif sont impliquées dans les réactions post-traumatiques (p. ex., Gilbertson et al., 2006; Marx et al., 2009; Parslow & Jorm, 2007). Les résultats ont montré que les capacités de raisonnement abstrait influencent les mécanismes de traitement de l'information émotionnelle et que de meilleures capacités de mémoire de travail sont associées à moins d'intrusions.

L'étude 2 a montré que des capacités de raisonnement abstrait non verbal préexistantes plus faibles avaient tendance à être associées à un traitement plus perceptuel suivant l'exposition au trauma. Cette relation n'était pas spécifique aux images liées au trauma analogue, mais elle était spécifique aux participants exposés au trauma analogue. Ces résultats indiquent donc que les différences individuelles en matière de raisonnement influencent la façon dont le cerveau traite et encode l'information, spécifiquement lors d'un événement émotionnel. Cependant, contrairement aux études antérieures (p. ex., Parslow & Jorm, 2007; Sopp et al., 2020), les capacités de raisonnement n'étaient pas directement liées aux intrusions. Cela semble confirmer que l'influence du raisonnement sur les symptômes post-traumatiques est indirecte. Les capacités de raisonnement plus faibles sont associées à un traitement perceptuel accru, et c'est ce mode de traitement qui est associé aux intrusions. Le raisonnement n'affecterait donc pas directement la fréquence des intrusions, mais plutôt la manière dont l'évènement est traité et encodé

initialement, influençant ainsi la probabilité qu'il réapparaisse involontairement sous forme d'intrusions.

Ces résultats appuient l'importance d'étudier les relations entre les fonctions cognitives et les réactions au trauma de manière prospective. Une telle approche permet de mieux différencier les effets du fonctionnement cognitif préexistant de ceux résultant du trauma. Les études transversales ne permettent pas de faire cette distinction et peuvent être influencées par d'autres facteurs. Notamment, des recherches remettent en question l'existence d'un lien direct entre le raisonnement (ou l'intelligence) et le TSPT en montrant plutôt une tendance à fournir des résultats invalides à des tâches cognitives chez les personnes ayant un TSPT (Shura et al., 2020; Wrocklage et al., 2016). Par exemple, bien que des vétérans ayant un TSPT obtiennent des scores de QI plus faibles que des vétérans exposés au trauma sans TSPT, ces différences ne sont plus présentes lorsque la validité de la performance est prise en compte (Shura et al., 2020; Wrocklage et al., 2016). La validité de la performance est le degré auquel les résultats obtenus aux tests sont représentatifs et fidèles du potentiel réel de la personne évaluée. Ainsi, le fait que les personnes présentant un TSPT peuvent avoir tendance à fournir des résultats invalides à diverses mesures cognitives devrait être pris en compte dans les études.

Enfin, les résultats de l'étude 3 répliquent les recherches précédentes montrant que les individus ayant de meilleures capacités de mémoire de travail préexistantes rapportent moins d'intrusions (Bomyea & Amir, 2011; Brewin & Smart, 2005; Curci et al., 2013;

Streb et al., 2016; Verwoerd et al., 2008; Wessel et al., 2008). Tel que mentionné en introduction, la relation entre le raisonnement et les intrusions pourrait donc aussi partiellement s'expliquer par sa variance partagée avec les capacités de mémoire de travail. En somme, les résultats s'ajoutent aux preuves grandissantes que le lien entre l'intelligence et les symptômes post-traumatiques est complexe et ne peut être réduit à une simple relation directe. Ces conclusions soulignent aussi l'importance des devis prospectifs, qu'ils soient expérimentaux ou longitudinaux, afin de limiter l'influence de variables confondantes rétrospectives, telles que la validité de la performance.

Impacts cognitifs de l'exposition au trauma

Si le fonctionnement cognitif préexistant influence les réactions au trauma, les résultats de cette thèse montrent aussi que l'exposition au trauma analogue a des impacts sur la cognition. Premièrement, bien qu'une meilleure mémoire de travail préexistante soit liée à moins d'intrusions, les résultats de l'étude 3 montrent aussi que les processus neurocognitifs de la mémoire de travail sont affectés par le trauma. Deuxièmement, l'étude 1 révèle quant à elle que l'exposition au trauma entraîne une activation implicite de concepts qui y sont reliés.

Concernant la mémoire de travail, l'exposition au trauma analogue, comparé au film neutre, n'a pas significativement affecté la performance comportementale. Cependant, elle a significativement perturbé les processus neurocognitifs sous-jacents (indexés par une diminution de l'amplitude de la composante P300). Selon la théorie de l'efficacité du

traitement, il y a une distinction entre l'efficacité et l'efficience des processus cognitifs (Eysenck et al., 2007). L'efficacité réfère à la qualité de la performance indexée par les résultats comportementaux, tels que la précision et les temps de réaction, alors que l'efficience réfère à la quantité de ressources mobilisées pour obtenir cette performance (Eysenck et al., 2007). Ainsi, l'exposition à un évènement émotionnel affecte l'efficience de la mémoire de travail, c'est-à-dire qu'une compensation sur le plan neurocognitif doit être mise en place afin de préserver l'efficacité de la performance. Les résultats de l'étude 3 montrent donc que des participants sans trouble clinique disposent de suffisamment de ressources pour mobiliser des mécanismes compensatoires. En comparaison, les études auprès de personnes atteintes de TSPT montrent que cette compensation est plus difficile à mobiliser, comme en témoignent à la fois les performances comportementales réduites et la perturbation des processus neurocognitifs sous-jacents (Johnson et al., 2013; Miller et al., 2021; Weber et al., 2005). En somme, chez des individus sans trouble clinique, l'exposition au trauma entraîne des effets immédiats sur les processus neurocognitifs de la mémoire de travail, mais sans altérer l'efficacité de la performance. En revanche, chez les personnes atteintes de TSPT, ces perturbations neurocognitives semblent plus importantes, affectant aussi l'efficacité de la performance (Johnson et al., 2013; Miller et al., 2021; Weber et al., 2005). Cette distinction souligne l'intérêt d'utiliser des modèles expérimentaux pour comparer les mécanismes de vulnérabilité et de résilience face au trauma chez des personnes sans TSPT.

Il est important de souligner que cette perturbation neurocognitive de la mémoire de travail n'est observée que dans la condition de faible charge cognitive, et pas dans la condition de charge élevée. Ce résultat peut sembler paradoxal à première vue, où il serait attendu que les capacités de compensation sont plus limitées dans une condition cognitivement plus exigeante. Il peut cependant s'expliquer par l'interaction entre la disponibilité des ressources cognitives et leur allocation stratégique. Selon le modèle de la double compétition, les processus émotionnels et cognitifs se disputent des ressources neuronales limitées (Pessoa, 2009). En condition de faible charge en mémoire de travail, il y a suffisamment de ressources disponibles, ce qui laisse de la place pour que le traitement émotionnel simultané interfère avec les processus cognitifs en cours (Pessoa, 2009; Zhang et al., 2015). Cela se manifeste par une diminution de l'efficacité de la mémoire de travail (indexée par l'amplitude de la P300), malgré une efficacité préservée de la performance comportementale. En revanche, en condition de charge élevée en mémoire de travail, la majorité des ressources doit être mobilisée sur la tâche, ce qui laisse peu de place au traitement émotionnel simultané. Cette allocation stratégique des ressources sur la tâche réduit donc l'interférence du traitement émotionnel sur l'efficacité de la mémoire de travail. Ces résultats suggèrent qu'une tâche mobilisant davantage de ressources cognitives peut réduire les réponses émotionnelles. Par exemple, une étude a examiné les variations dans une mesure corticale de l'activation émotionnelle (composante LPP) déclenchées par des images négatives et neutres présentées comme distracteurs durant une tâche de mémoire de travail (MacNamara et al., 2011). Les résultats ont montré un traitement émotionnel réduit (indexé par une réduction de la LPP)

d'images négatives dans une condition de charge élevée comparée à une faible charge en mémoire de travail (MacNamara et al., 2011). Ainsi, les émotions négatives influencent les mécanismes de la mémoire de travail, et la mobilisation de la mémoire de travail module aussi les réponses émotionnelles.

Ces conclusions sont similaires à ceux observés dans le contexte d'une douleur physique induite pendant l'exécution d'une tâche de mémoire de travail (Wagenaar-Tison et al., 2022). Les stimulations nociceptives affectent les processus neurocognitifs de la mémoire de travail (indexé par l'amplitude de la composante CDA) et cet effet est aussi réduit dans une condition de charge élevée (Wagenaar-Tison et al., 2022). Les effets distracteurs de la douleur peuvent être diminués par l'engagement de la mémoire de travail dans une tâche nécessitant davantage de ressources cognitives (Deldar et al., 2021). Similairement, la mobilisation de la mémoire de travail pourrait constituer une stratégie pour minimiser l'impact des émotions négatives sur la cognition. Dans le TSPT, les personnes se trouvent constamment dans un état d'alerte qui mobilise leurs ressources cognitives sur les émotions, intrusions et stimuli potentiellement menaçants de l'environnement. Orienter ces ressources sur des tâches cognitives neutres pourrait aider à réduire le traitement de ces éléments émotionnels, limitant leur emprise sur le fonctionnement cognitif.

Les intrusions étaient associées à des performances inférieures dans la condition de charge élevée en mémoire de travail, et ce, en contrôlant pour les capacités préexistantes.

Cela suggère que les intrusions peuvent également perturber la mémoire de travail. Cependant, la nature corrélationnelle de ce résultat ne permet pas d'en être assuré. Il est possible que la mémoire de travail soit affectée par d'autres mécanismes que les intrusions et que ce soit la diminution de la mémoire de travail qui entraîne une moins bonne inhibition des intrusions. Les variations d'amplitude de la composante P300 n'étaient pas liées aux réactions émotionnelles ni aux intrusions rapportées. Ces mesures des réactions émotionnelles et des intrusions étant subjectives, elles ne renseignent pas sur les mécanismes cérébraux sous-jacents ou les processus implicites. Le rôle de ces processus implicites peut être mieux saisi à partir de mesures comportementales indirectes.

À cet effet, les résultats de l'étude 1 montrent que l'exposition au trauma entraîne une activation implicite des concepts qui y sont liés, ce qui se traduit par des réponses plus rapides pour identifier des mots liés au trauma analogue dans une tâche de décision lexicale. Les modèles théoriques soutiennent que les souvenirs du trauma prennent la forme de réseaux fortement interconnectés, comprenant les stimuli et les concepts liés au contexte de l'évènement (Ehlers & Clark, 2000; Michael et al., 2005b). En conséquence de ces réseaux de mémoire associatifs, les indices environnementaux associés au trauma sont plus facilement et rapidement détectés (Michael & Ehlers, 2007). Les résultats de la tâche de décision lexicale de l'étude 1 appuient ces théories en montrant que les concepts sémantiquement liés à un évènement émotionnel récent sont identifiés plus rapidement que ceux liés à un évènement neutre. Le degré de cette activation implicite n'était pas relié à la fréquence des intrusions rapportée par les participants. Ce type d'amorçage implicite

est néanmoins susceptible d'influencer les pensées et les comportements au quotidien. Par exemple, les personnes atteintes de TSPT revivent parfois des sensations ou des émotions comme si l'évènement se reproduisait dans le présent, sans pour autant en avoir un souvenir conscient (Ehlers & Clark, 2000). En somme, l'étude 1 a permis d'explorer une nouvelle mesure indirecte de la mémoire implicite, moins sujette aux biais subjectifs inhérents aux mesures autorapportées. Des études supplémentaires seront nécessaires pour approfondir la compréhension du rôle de la mémoire implicite dans les symptômes post-traumatiques.

En résumé, l'exposition au trauma affecte l'efficacité de la mémoire de travail et entraîne une activation implicite de concepts liés. Il serait intéressant d'examiner dans de futures études si ces activations implicites pourraient être liées aux perturbations de la mémoire de travail. Par exemple, une étude a utilisé une tâche de décision lexicale incluant des distracteurs neutres présentés auparavant dans une tâche de mémoire de travail pour montrer que de plus faibles performances mnésiques étaient associées à une plus grande activation de ces concepts non pertinents (Botto & Palladino, 2016). Une approche similaire pourrait être employée avec des mots liés à un trauma analogue, en imbriquant des essais de décision lexicale dans une tâche de mémoire de travail. Cela permettrait de vérifier si les activations implicites de concepts liés au contenu émotionnel interfèrent avec l'efficacité de la mémoire de travail.

Effets différenciés de la facilitation et de l'interférence sur les intrusions

Les résultats des études 1 et 2 permettent d'approfondir la compréhension des mécanismes distincts associés aux intrusions. Alors que la facilitation de la performance pour des mots n'est pas liée aux intrusions (étude 1), le degré d'interférence causé par des images est, lui, associé aux intrusions (étude 2), du moins chez les femmes. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette différence : elle pourrait être liée à la nature des stimuli employés (mots versus images) ou aux mécanismes sous-jacents impliqués.

En faveur de la première hypothèse, le traitement d'images repose sur les processus perceptuels. Tel que décrit précédemment, il est possible que l'emploi de stimuli perceptuels (images) soit plus sensible et spécifique que l'emploi de stimuli de nature sémantique (mots) dans une tâche d'amorçage. Par exemple, dans une étude où les participants devaient identifier des images floues associées ou non au trauma, ceux atteints de TSPT, comparés à ceux exposés au trauma sans TSPT et ceux non-exposés au trauma, reconnaissaient mieux les images liées au trauma que les images neutres ou négatives non reliées (Kleim et al., 2012). Cette facilitation de la performance sur les stimuli *perceptuellement* similaire au trauma était liée à la fréquence des intrusions et prédisait la persistance du TSPT six mois plus tard (Kleim et al., 2012). Ce résultat appuie l'idée selon laquelle des processus d'amorçage implicites de nature perceptuelle puissent être impliqués dans la récupération involontaire de souvenirs du trauma et plus largement dans le TSPT (Ehlers et al., 2004).

Les effets différenciés de la facilitation et de l'interférence sur les intrusions peuvent aussi s'expliquer par les différents mécanismes cognitifs sous-jacents. La facilitation repose sur des processus automatiques, alors que l'interférence repose en partie sur des processus stratégiques de contrôle attentionnel qui nécessitent une régulation cognitive plus élaborée. Suivant cette hypothèse, ce serait donc l'implication de ces processus de contrôle qui serait liée aux intrusions, et non une simple activation automatique. Cette idée est soutenue par une méta-analyse d'études utilisant le traçage oculaire pour examiner les processus attentionnels dans le TSPT qui montre peu de soutien en faveur d'une détection précoce accrue de stimuli liés au trauma et met plutôt en évidence une attention prolongée à ces stimuli (Lazarov et al., 2019). Ces résultats renforcent l'idée que la symptomatologie du TSPT est associée à une difficulté à contrôler l'attention plutôt qu'à une simple hyperréactivité automatique aux stimuli rappelant le trauma.

Mis ensembles ces conclusions suggèrent que les intrusions peuvent être associées à (au moins) deux types de mécanismes cognitifs distincts. D'une part, les intrusions sont liées à un amorçage implicite *perceptuel*, tel que montré par la reconnaissance facilitée d'images floues liées au trauma (Kleim et al., 2012), mais pas l'identification plus rapide de mots liés au trauma (étude 1). D'autre part, les intrusions sont liées à des processus de contrôles attentionnels altérés, tel qu'illustré par des temps de fixation prolongés sur des stimuli liés au trauma (Lazarov et al., 2019) et l'interférence causée par des images liées au trauma dans une tâche de Stroop émotionnelle (étude 2). Ces deux mécanismes peuvent coexister et interagir, contribuant différemment aux intrusions.

Différences selon le genre

Les symptômes post-traumatiques sont influencés par le genre, celui-ci étant un facteur de risque bien documenté (Brewin et al., 2000; Haering et al., 2024; Tortella-Feliu et al., 2019). Les femmes présentent un risque deux à trois fois plus élevé de développer un TSPT, de même que des symptômes plus sévères, que les hommes, et ce, bien que ces derniers soient plus susceptibles d'être exposés à des événements potentiellement traumatiques (Haering et al., 2024; Olf, 2017). Les résultats de la présente thèse sont cohérents avec ces statistiques : les femmes ont rapporté davantage d'intrusions et un plus grand impact émotionnel du trauma analogue. Dans l'étude 2, les associations entre le biais attentionnel et les intrusions, et entre le raisonnement et le biais attentionnel, n'ont été observées que chez les femmes. Le genre est un facteur important à considérer dans l'étude du biais attentionnel (Carlson et al., 2019; Sass et al., 2010). Plusieurs des études antérieures employant la tâche de Stroop émotionnelle pour examiner les biais attentionnels suivant l'exposition au trauma et dans le TSPT ont été réalisées auprès de femmes (p. ex., Caparos & Blanchette, 2014; Pineles et al., 2009) ou d'échantillons majoritairement composés de femmes (p. ex., Verwoerd et al., 2009; méta-analyse : Cisler et al., 2011). Parallèlement, les femmes sont néanmoins sous-représentées dans la recherche sur le TSPT. Par exemple, une méta-analyse de 47 études prospectives a révélé que les participants étaient composés à 68,3 % d'hommes, contre seulement 31,7 % de femmes (Haering et al., 2024). Ces conclusions soulignent l'importance d'une représentation plus égalitaire des genres et d'analyses différenciées en fonction du genre dans la recherche sur le trauma.

La raison pour laquelle les femmes sont plus vulnérables aux symptômes post-traumatiques est encore mal comprise. Il a été avancé que cela pourrait être dû à la nature des traumatismes auxquels les femmes sont plus exposées (p. ex., agressions sexuelles) et au fait qu'elles y sont souvent exposées à un plus jeune âge (Olf, 2017). Cependant, le fait que les femmes rapportent davantage d'intrusions et un plus grand impact émotionnel d'un film d'accidents de la route suggère que des facteurs autres que la nature du trauma soient impliqués. Il est possible que les femmes aient davantage tendance à identifier et rapporter des émotions, des intrusions, et des symptômes de manière générale (p. ex., Shi et al., 2021). Il a aussi été proposé que la prévalence plus élevée du TSPT chez les femmes pourrait être due à certaines différences biologiques entre les hommes et les femmes (p. ex., Hsu et al., 2021; Miedl et al., 2018). Des recherches mettent en évidence l'influence des hormones sexuelles féminines dans les mécanismes de traitement de l'information émotionnelle (Miedl et al., 2018; Peyrot et al., 2024a, 2024b). Par exemple, les niveaux d'estradiol endogène et l'utilisation de contraceptifs hormonaux sont associés à des variations de l'activité neuronale de régions cérébrales impliquées dans le traitement émotionnel (amygdale, insula, cortex cingulaire) lors du visionnement d'un film émotionnel (Miedl et al., 2018). Les hormones sexuelles sont également associées aux souvenirs intrusifs (Hsu et al., 2021) et au fonctionnement cognitif (Kheloui et al., 2021). En somme, ces conclusions invitent à la prudence dans la généralisation des résultats d'études menées principalement auprès d'échantillons féminins ou masculins, ou combinant les deux sans considérer ces différences. Ces conclusions invitent aussi, et

surtout, à préciser davantage ce qui distingue les hommes et les femmes quant à leur réaction au trauma, tant dans les mesures subjectives qu'objectives.

Forces et limites

Cette thèse se distingue par son approche méthodologique rigoureuse, transparente et novatrice. Ces aspects sont attestés par le développement de matériel de recherche validé (trauma analogue), le préenregistrement des études et les apports uniques d'une combinaison de données subjectives et objectives, comportementales et électroencéphalographiques, recueillies à différents temps de mesures. Malgré l'apport original de cette thèse, les résultats doivent être interprétés en prenant en compte les limites inhérentes aux choix méthodologiques. La section suivante présente les forces et limites de la démarche de recherche.

Forces

L'étude 1 a permis de valider un montage vidéo en tant que trauma analogue qui bénéficie non seulement aux deux autres études de la présente thèse, mais aussi à la communauté scientifique en général. Le montage vidéo réalisé constitue un outil fiable et éprouvé pour induire des réactions émotionnelles et des intrusions. Il a d'ailleurs déjà été partagé avec d'autres chercheurs qui l'utilisent pour mener leurs propres études.

Les études 2 et 3 ont été acceptées en préenregistrement dans les revues dans lesquelles elles sont publiées. Cette démarche était motivée par une volonté d'adopter les

meilleures pratiques actuelles en science ouverte. Le préenregistrement contribue à renforcer la crédibilité et la répliquabilité des résultats, puisque la décision de publication est basée sur la pertinence de la question de recherche et la qualité méthodologique, et non sur les résultats obtenus (Chambers & Tzavella, 2022). L'évaluation préalable par les pairs, experts du domaine, a permis de considérablement améliorer les hypothèses, la méthode et les analyses de ces études.

L'originalité de la méthode des études 2 et 3 réside dans la combinaison de mesures subjectives (intrusions et réaction émotionnelle) et objectives, couvrant plusieurs fonctions cognitives (raisonnement, attention, mémoire de travail) et analysées à travers différentes voies (directes et indirectes). La thèse intègre également une dimension temporelle particulièrement pertinente, en évaluant les capacités préexistantes, les mécanismes cognitifs immédiatement après l'évènement, et les intrusions pendant les jours suivants. De plus, le contrôle rigoureux des différences individuelles préexistantes renforce la fiabilité des conclusions. Enfin, un échantillon de taille conséquente ($n = 120$), particulièrement pour des études en EEG, représente aussi un atout important. Cet échantillon se distingue par sa composition : il est issu de la population générale âgée de 18 à 45 ans (moyenne de 30 ans, un tiers d'hommes) plutôt que limité à des étudiants universitaires, comme c'est souvent le cas en recherche expérimentale (p. ex., Hooghe et al., 2010). Cette diversité démographique renforce la généralisation des résultats à des profils plus variés en termes d'âge, de genre et de niveau d'éducation.

Cela étant dit, l'aspect le plus novateur de cette thèse est l'utilisation des mesures EEG afin d'examiner les mécanismes sous-jacents aux interactions entre les processus cognitifs et émotionnels. Au moment d'entamer ce projet, très peu d'études avaient combiné des mesures EEG au paradigme de trauma analogue (Grégoire et al., 2021; Leblanc-Sirois et al., 2021; Luo et al., 2013; Meyer et al., 2014). Les potentiels évoqués offrent un accès à des informations qui échappent à la conscience et ne peuvent donc pas être rapportées par les participants tel que le traitement perceptuel. L'apport original d'une mesure neurophysiologique de ce type de traitement (amplitude de la composante P1) fournit ainsi un appui plus solide aux modèles théoriques (Brewin et al., 2010; Ehlers & Clark, 2000). Les potentiels évoqués fournissent aussi des informations sur des mécanismes neurocognitifs subtils, imperceptibles au niveau comportemental tels que les effets des émotions négatives sur les processus de la mémoire de travail (amplitude de la composante P300). Cela souligne leur utilité pour accéder à des données qui échappent aux résultats comportementaux. En somme, bien que présentant aussi certaines limites, les mesures EEG offrent un accès privilégié à certains mécanismes neurocognitifs impliqués dans les variations interindividuelles des réponses au trauma. L'ensemble de ces éléments témoigne d'une approche innovante et intégrative, particulièrement adaptée à la complexité de l'étude des interactions entre cognition et réactions au trauma.

Limites

Outre les limites propres à chaque étude discutées individuellement dans les articles, il est important de considérer les aspects plus généraux concernant la validité écologique

du modèle expérimental employé et la généralisation des résultats obtenus de participants non-cliniques. Premièrement, l'exposition à un film émotionnel ne reproduit évidemment pas l'intensité émotionnelle provoquée par un trauma de la vie réelle (ce qui est une bonne chose, pour éviter de traumatiser des personnes volontaires à la recherche). Le paradigme de trauma analogue produit des réactions émotionnelles de faible intensité et seulement pour une courte période (p. ex., Arnaudova & Hagedaars, 2017; Stirling et al., 2023). Un évènement potentiellement traumatique est profondément marquant par sa gravité, sa signification personnelle et ses conséquences souvent durables sur la vie de la personne. Le visionnement d'un film, aussi aversif soit-il, ne peut être comparable à subir un grave accident de la route, une violente agression ou les bombardements d'une guerre décimant sa famille. Par ailleurs, les symptômes d'intrusions sont définis dans le DSM-5 comme des souvenirs répétitifs, involontaires et envahissants qui *provoquent de la détresse* (APA, 2013). L'absence de détresse associée aux souvenirs d'un film limite la possibilité de les considérer comme réellement intrusifs au sens pathologique du terme. Il serait donc sans doute plus approprié de parler de souvenirs involontaires dans le contexte d'un trauma analogue. De plus, seule la fréquence des intrusions a été mesurée, sans prendre en compte leur forme (p. ex., images ou pensées) ni leur intensité émotionnelle. Aussi, les résultats ne peuvent être explicatifs de l'ensemble de la symptomatologie du TSPT : seuls l'impact du trauma analogue sur l'état émotionnel rapporté et la fréquence des intrusions ont été mesurés. Ces aspects étant examinés de manière immédiate et sur quelques jours seulement, ils ne permettent pas non plus d'explorer les mécanismes susceptibles d'intervenir plus tard après un trauma (p. ex., les affects dépressifs et anxieux). En somme,

il serait réducteur et simpliste d'affirmer que les résultats de cette thèse, et plus largement des études trauma analogue, permettent, à eux seuls, de mieux comprendre les conséquences du trauma.

Deuxièmement, les personnes ayant participé aux études de cette thèse ont été soigneusement sélectionnées selon des critères spécifiques associés aux mesures EEG et au risque éthique que pose l'exposition à un contenu émotionnel. Les personnes présentant des symptômes post-traumatiques cliniquement significatifs, des troubles neurocognitifs ou sous médication affectant les fonctions cognitives ont été exclues. Si cette sélection assure une certaine uniformité dans les données collectées, elle limite la généralisation des résultats, puisque certaines conditions exclues (p. ex., la dépression ou l'anxiété) sont fréquentes chez les personnes atteintes de TSPT (p. ex., Tortella-Feliu et al., 2019). En somme, les réactions des participants au trauma analogue ne sauraient être un parfait reflet des réactions des individus cliniquement affectés par le TSPT.

Pour toutes ces raisons, les résultats montrant une absence de relations ou de différences intergroupes significatives ne peuvent être interprétés comme représentatifs d'éventuels (absence d') effets d'un réel trauma chez des populations à risque. Cela étant dit, les résultats significatifs provenant des études de trauma analogue sont importants. Si la simple exposition à un film provoque des effets significatifs mesurables sur le plan émotionnel, cognitif ou neurophysiologique, cela suggère que des événements réels, plus intenses, peuvent engendrer des réactions encore plus marquées et persistantes. Ces études

permettent ainsi de mieux comprendre certains processus sous-jacents aux réactions post-traumatiques, tout en appelant à la prudence dans la généralisation des conclusions, surtout vis-à-vis celles montrant une absence d'effets significatifs.

En somme, bien que le paradigme du trauma analogue ne permette pas de saisir toute la complexité des expériences potentiellement traumatiques réelles, il demeure un outil précieux pour explorer certains aspects de l'exposition au trauma dans un cadre expérimental rigoureux. Ces limites inhérentes à la méthodologie sont donc mitigées par l'apport unique de données prospectives, objectives et précises des mécanismes cognitifs et émotionnels impliqués dans les réactions au trauma. Ces données fournissent une base sur laquelle la recherche future peut s'appuyer pour affiner les modèles théoriques du trauma, mieux comprendre les facteurs influençant ses conséquences et développer des interventions ciblant ces facteurs.

Recommandations

Les conclusions de cette thèse ouvrent des avenues prometteuses à la fois pour la recherche fondamentale et pour la pratique clinique. Premièrement, il apparaît essentiel de poursuivre les études en neurosciences afin d'approfondir la compréhension des mécanismes neurocognitifs impliqués dans les réactions post-traumatiques. Deuxièmement, les résultats de cette thèse suggèrent des implications cliniques invitant à repenser les interventions thérapeutiques en intégrant plus étroitement les processus cognitifs dans le traitement des symptômes post-traumatiques.

Perspectives de recherche en neurosciences

L'identification de marqueurs neurologiques des intrusions constitue une avenue particulièrement intéressante. La plupart des études, y compris les études de cette thèse, utilisent des mesures d'intrusions subjectives. Le caractère partiellement implicite des intrusions limite la précision des évaluations basées uniquement sur l'autorapporté. Dans cette optique, les neurosciences offrent des outils prometteurs pour détecter les signatures cérébrales spécifiques associées aux intrusions et ainsi mieux comprendre les mécanismes neurocognitifs impliqués dans leur occurrence.

En ce sens, des études ont examiné les signatures neuronales distinctives des intrusions à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (Battaglini et al., 2018; Bourne et al., 2013; Clark et al., 2016; Kobelt et al., 2024). Cette technique a permis d'identifier des régions cérébrales associées à l'encodage des souvenirs d'un trauma analogue et à leur rappel involontaire subséquent, notamment l'insula, le gyrus frontal inférieur, le précuneus et le cortex cingulaire antérieur (Clark et al., 2016; Kobelt et al., 2024). Une découverte particulièrement intéressante a révélé que les intrusions d'un trauma analogue (comparé aux intrusions d'un contenu neutre) impliquent un traitement accru dans les régions sensorielles, surtout visuelles, combinées à une activité réduite dans les régions associées au traitement conceptuel et sémantique (Kobelt et al., 2024). Ces résultats fournissent un appui empirique supplémentaire et particulièrement robuste à l'idée que les intrusions résultent de processus mnésiques plus perceptuels et moins conceptuels.

La signature cérébrale des intrusions pourrait également être examinée par le décodage du signal EEG. Par exemple, une étude a utilisé l'apprentissage machine pour détecter à partir de l'activité oscillatoire les intrusions au moment précis où elles se produisent lors d'une tâche de suppression de la mémoire (Legrand et al., 2022). Cette méthode a non seulement permis d'identifier les essais où une intrusion était rapportée par les participants, mais aussi de prédire si une intrusion allait réapparaître dans un essai suivant (Legrand et al., 2022). Ce qui est intéressant avec l'utilisation de l'activité oscillatoire, c'est qu'elle permet de détecter des réactivations en mémoire qui échappent à la conscience des participants (Wimber et al., 2012), de même que les mécanismes de régulations impliqués dans la suppression des intrusions (Legrand et al., 2022; Lin et al., 2024). Il serait intéressant d'examiner les impacts des intrusions non-détectées par rapport aux intrusions détectées sur le fonctionnement cognitif et psychologique. Une autre avenue intéressante du décodage EEG serait d'identifier des marqueurs de traitement perceptuel *pendant* un trauma analogue. Par exemple, le traitement sensoriel-perceptuel peut être examiné par l'analyse des oscillations neuronales, en particulier les ondes gamma, qui indexent le flux d'informations sensorielles ascendantes (*bottom-up*, Riddle et al., 2019). Enfin, l'analyse des oscillations dans la bande alpha permet d'indexer l'attention contrôlée (endogène) et l'attention automatiquement dirigée sur des stimuli externes (exogènes), de même que les interactions réciproques entre ces processus attentionnels (Landry et al., 2022, 2024).

En somme, ces différentes techniques pourraient être combinées au paradigme de trauma analogue afin d'examiner s'il est possible de détecter en temps réel l'émergence spontanée des intrusions et identifier des patrons d'activité cérébrale pendant le trauma qui influencent l'occurrence des intrusions. Par la suite, il serait pertinent d'explorer si ces activations neuronales (Kobelt et al., 2024) ou ces signaux EEG (Legrand et al., 2022; Lin et al., 2024; Wimber et al., 2012) peuvent être modulés après l'exposition à un trauma analogue. Par exemple, il est peut-être possible de diminuer les intrusions en mobilisant des stratégies de traitement plus abstraites, en entraînant le contrôle attentionnel ou en engageant la mémoire de travail dans une tâche complexe. Il serait également pertinent d'examiner si l'activité cérébrale indexant les intrusions peut être observée durant l'exécution de tâche cognitive, par exemple de contrôle attentionnel ou de mémoire de travail. Cela permettrait de déterminer si effectivement les intrusions, qu'elles soient explicites ou implicites, affectent le fonctionnement cognitif.

Cela étant dit, une compréhension complète des liens entre fonctions cognitives et conséquences de l'exposition au trauma doit aussi inclure des données issues de la vie réelle. Autrement dit, les résultats expérimentaux doivent être répliqués à plus grande échelle et dans le contexte d'évènement potentiellement traumatique réelle. Une avenue particulièrement intéressante consiste à combiner des mesures de l'activité cérébrale, du fonctionnement cognitif et de symptômes post-traumatiques auprès de larges cohortes de participants suivis sur plusieurs années. Par exemple, une étude longitudinale menée auprès de personnes exposées aux attentats de Paris de 2015 a examiné les activations

neuronales indexant les mécanismes de contrôle de la mémoire deux et quatre ans après les événements (Leone et al., 2025). Les résultats montrent que la normalisation des processus de contrôle inhibiteur, qui régulent l'émergence des intrusions, prédit la rémission du TSPT (Leone et al., 2025). Des mesures EEG à l'état de repos et certaines composantes de potentiels évoqués (N2, P300, LPP) montrent aussi un potentiel pour identifier le TSPT, bien que les résultats soient disparates (Kovacevic et al., 2025). Ces résultats sont prometteurs dans une perspective d'identifier des biomarqueurs cérébraux à la fois du développement du TSPT et de l'évolution favorable suivant l'exposition au trauma. Des travaux similaires sont actuellement menés au sein du laboratoire Cogité, où des mesures EEG sont associées à des mesures cognitives et émotionnelles dans une étude longitudinale auprès de larges échantillons de la population générale.

Perspectives cliniques

Plusieurs interventions sont reconnues efficaces pour traiter le TSPT, en particulier la thérapie cognitivo-comportementale centrée sur le trauma et la thérapie par exposition prolongée, qu'elles soient ou non combinées à la pharmacologie (pour une revue : Watkins et al., 2018). Il y a néanmoins une proportion non-négligeable de personnes qui demeurent avec des symptômes persistants après avoir bénéficié de ces *meilleures* interventions (Burback et al., 2024; Cukor et al., 2010). Le terme « meilleure intervention » est utilisé ici pour parler des interventions dont l'efficacité est empiriquement appuyée, telles que celles citées ci-haut. Deux hypothèses ont été avancées pour expliquer la relative inefficacité des *meilleures* interventions du TSPT : soit il s'agit d'un problème de pratique,

c'est-à-dire les mécanismes du trouble sont bien compris, mais les interventions actuelles ne les ciblent pas suffisamment; soit il s'agit d'un problème de fond, c'est-à-dire que le TSPT n'est pas encore assez bien compris, ce qui conduit à cibler essentiellement les symptômes sans remédier aux causes sous-jacentes (Bassford, 2024). Une combinaison de ces deux hypothèses apparaît plausible : les avancées récentes dans la compréhension du trouble, bien qu'encore incomplète, ne sont pas suffisamment prises en compte par les méthodes thérapeutiques actuelles (Burbach et al., 2024). En particulier, les processus perceptuels et implicites ainsi que les fonctions cognitives sont peu considérés dans les interventions post-traumatiques courantes.

Les interventions centrées sur le trauma reposent sur la modification des souvenirs traumatiques en mettant l'accent sur la mémoire autobiographique explicite (Damis, 2022; Watkins et al., 2018). Cette approche peut ne pas être toujours pleinement efficace parce qu'elle ne prend pas suffisamment en compte les représentations du trauma dans le système de mémoire implicite (Damis, 2022). Le cas présenté en introduction du patient amnésique qui présentait un TSPT chronique malgré les nombreux traitements dont il avait bénéficié illustre bien cette problématique (Krikorian & Layton, 1998). Le développement et la persistance de symptômes post-traumatiques, notamment d'intrusions *perceptuellement* similaires à l'évènement, en l'absence de souvenir explicite de celui-ci, soulignent l'implication de mécanismes perceptuels implicites dans l'étiologie du TSPT. Ces mécanismes devraient donc également être pris en compte dans le cadre des interventions thérapeutiques.

Quelques études ont examiné comment des interventions spécifiques peuvent modifier les processus de traitement perceptuel et implicite dans le but de réduire les symptômes (p. ex., Holmes et al., 2010; Salvador et al., 2018). Par exemple, effectuer une tâche visuospatiale (p. ex., jouer à Tetris) tôt après un trauma pourrait diminuer l'occurrence subséquente d'intrusions (Holmes et al., 2009, 2010; Iyadurai et al., 2018; Matura et al., 2025). L'hypothèse est que l'engagement du système visuel par la tâche réduit le traitement perceptuel, et donc la consolidation en mémoire, des images mentales du trauma, ce qui diminue la probabilité que ces images ressurgissent ultérieurement (Agren et al., 2023; Matura et al., 2025). Malgré des résultats mitigés rapportés dans certaines études (Cristea et al., 2018; Kehyayan et al., 2024; Wessel et al., 2025), ce type d'interventions appuie l'idée qu'agir précocement sur les processus perceptuels pourrait constituer une voie pour prévenir les intrusions. Une de ces voies pourrait être des stratégies de traitement abstrait pour réduire le traitement perceptuel. Par exemple, une étude a montré qu'effectuer une tâche de raisonnement abstrait *avant* un trauma analogue réduit par la suite le niveau de traitement perceptuel sur des images liées au trauma (Leblanc-Sirois et al., 2021). Il serait intéressant d'examiner si une tâche de raisonnement abstrait effectuée *après* le trauma peut également réduire le traitement perceptuel, et conséquemment les intrusions.

En ce qui concerne la mémoire implicite, il semble qu'il ne soit pas toujours nécessaire d'aborder explicitement les symptômes pour les diminuer. Des mécanismes de régulation peuvent être mobilisés de manière inconsciente. Par exemple, une étude a

utilisé une tâche de suppression de la mémoire dans laquelle certaines instructions (penser ou ne pas penser à un mot) étaient présentées très brièvement (masquées) pour examiner leur influence sur la mémoire malgré l'absence de leur perception consciente (Salvador et al., 2018). Lors d'un test de mémoire ultérieur, les participants ont montré un moins bon rappel des mots dont les instructions masquées précédentes indiquaient de les supprimer (Salvador et al., 2018). Ces résultats suggèrent que la réactivation d'un souvenir n'a pas besoin d'être vécue consciemment pour être supprimée, en particulier lorsque cette suppression a été entraînée (Salvador et al., 2018). En ce sens, une étude montre qu'un entraînement en ligne à une tâche de suppression de la mémoire réduisait les symptômes d'anxiété, de dépression et les émotions négatives en général jusqu'à trois mois plus tard (Mamat & Anderson, 2023). Les approches thérapeutiques classiques, influencées par la théorie du traitement ironique (*Ironic Processing Theory*; Wegner, 1994, 1997; Wegner et al., 1987), considèrent généralement la suppression des pensées comme une forme d'évitement cognitif contre-productif, présumant qu'elle augmente la fréquence des pensées supprimées par effet rebond (Mamat et al., 2024). Or, les données récentes remettent en question cette vision en montrant au contraire que la suppression de la mémoire peut aider à réduire les intrusions et améliorer la santé mentale dans plusieurs contextes cliniques (p. ex., Gagnepain et al., 2017; Hu et al., 2017; Mary et al., 2020; Mamat & Anderson, 2023; pour une méta-analyse : Stramaccia et al., 2021). L'entraînement à la suppression de la mémoire pourrait donc être une stratégie complémentaire aux thérapies par exposition et de restructuration cognitive.

D'autres avenues intéressantes pour réduire les symptômes consistent à agir sur les mécanismes cérébraux sous-jacents. Notamment, la stimulation magnétique transcrânienne (TMS) et la stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS) montrent un potentiel en tant que traitements du TSPT, bien que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre leurs mécanismes d'action (pour des revues : Belsher et al., 2021; Harris & Reece, 2021; Kan et al., 2020). Ces deux techniques consistent à augmenter ou réduire l'activité neuronale de zones cérébrales ciblées en faisant passer brièvement un champ magnétique (TMS) ou un courant électrique (tDCS) à travers le crâne (Kan et al., 2020). Par exemple, la TMS appliquée au cortex préfrontal semble pouvoir réduire les réponses émotionnelles associées à des stimuli précédemment conditionnés pour induire ces réponses émotionnelles (extinction de la peur, Raj et al., 2018). La tDCS appliquée au cortex préfrontal dorsolatéral semble efficace pour réduire l'hyperréactivité et les altérations négatives de la cognition et de l'humeur (Ahmadizadeh et al., 2019) et possiblement améliorer la mémoire de travail (Saunders et al., 2015). Le neurofeedback a aussi montré des effets intéressants sur la réduction des symptômes post-traumatiques. Le neurofeedback est une intervention visant à améliorer l'autorégulation du cerveau. En mesurant l'activité cérébrale par l'EEG et en fournissant une rétroaction de celle-ci en temps réel (par des indices visuels ou auditifs), la personne apprend à moduler ses ondes cérébrales, améliorant ainsi les oscillations dysfonctionnelles (Nicholson et al., 2020). Le neurofeedback est associé à des changements dans le fonctionnement neurophysiologique, lequel est lié à une amélioration des symptômes du TSPT (pour une revue : Askovic et al., 2023). Ces approches neurocognitives, seules ou combinées aux *meilleures* interventions

courantes, apparaissent comme des perspectives prometteuses pour améliorer la prise en charge thérapeutique.

Un autre facteur qui est peu pris en considération dans les interventions actuelles pour le TSPT est le fonctionnement cognitif. Les résultats de la présente thèse s'ajoutent aux preuves croissantes, et de longue date, que les fonctions cognitives sont liées à la symptomatologie post-traumatique (pour des revues : Aspelund et al., 2025; Scott et al., 2015). L'intégration de l'évaluation neuropsychologique dans le suivi des personnes exposées au trauma apparaît donc essentielle pour optimiser leur fonctionnement (p. ex., Bisson-Desrochers et al., 2021). Une évaluation exhaustive des habiletés cognitives dressant un portrait des forces et des faiblesses pourrait aider à identifier les traitements les plus appropriés de même qu'à cibler des interventions de remédiations cognitives pertinentes (Boyd et al., 2019; Clark et al., 2024). L'évaluation neuropsychologique, de même que les interventions d'entraînement cognitif, pourraient également être pertinentes dans une optique préventive chez les populations susceptibles d'être exposées au trauma (p. ex., premiers répondants, militaires).

La plupart des interventions psychothérapeutiques axées sur le trauma n'améliorent pas de manière significative le fonctionnement cognitif, et ce, même lorsque les symptômes cliniques s'améliorent (Gould et al., 2019; Haaland et al., 2016; pour une revue : Susanty et al., 2022). En revanche, des études auprès de populations cliniques indiquent que des programmes d'entraînement cognitif améliorent, non seulement les

fonctions cognitives entraînées, mais aussi les symptômes du TSPT (Bomyea et al., 2015, 2025; Boyd et al., 2019; Clark et al., 2024; Zhang et al., 2024). Cibler spécifiquement les difficultés cognitives qui jouent un rôle dans les symptômes (p. ex., mémoire de travail, contrôle attentionnel) apparaît donc cliniquement pertinent. Ce type d'intervention semble aussi avoir des effets préventifs. Par exemple, quatre séances d'entraînement à la modification du biais attentionnel, effectuées avant le déploiement au combat, ont réduit le risque de développer un TSPT après l'exposition au combat (Wald et al., 2016). Par ailleurs, il a été suggéré que les difficultés cognitives précèdent l'apparition des symptômes post-traumatiques (Nijdam et al., 2023), ce qui appuie la pertinence d'interventions cognitives précoces.

En résumé, une meilleure prise en compte des facteurs neurocognitifs pourrait contribuer à améliorer l'accompagnement thérapeutique des personnes exposées au trauma. Il est crucial de penser le TSPT en dépassant la séparation entre émotion et cognition, entre psychologie et neuropsychologie. Une compréhension plus intégrée des réactions au trauma implique de considérer plus attentivement les interactions bidirectionnelles entre les processus cognitifs et émotionnels. C'est en adoptant cette perspective unifiée dans les approches scientifiques et cliniques que la complexité de l'expérience du trauma sera mieux comprise et conséquemment, mieux traitée.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était d'approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents aux interactions entre le fonctionnement cognitif et les réactions au trauma. Les résultats ont montré comment des facteurs préexistants (raisonnement abstrait, mémoire de travail), pendant l'évènement (traitement perceptuel) et après l'évènement (contrôle attentionnel, mémoire de travail, mémoire implicite) peuvent être liés aux intrusions. Cette thèse s'inscrit dans un nouveau cadre de recherche en neurosciences sur l'identification de mécanismes cérébraux potentiellement utiles pour la compréhension des conséquences du trauma. Agir sur ces mécanismes constitue une piste d'interventions prometteuses pour les personnes affectées par le trauma. Il n'est pas possible d'oublier un grave accident de la route, une violente agression ou la perte de sa famille dans la dévastation d'une guerre. L'enjeu est plutôt de comprendre comment faire en sorte que ces évènements passés ne définissent pas entièrement le présent. Si comprendre est un premier pas pour éventuellement mieux soigner, alors espérons que cette thèse en est une modeste contribution. Ce travail est dédié à toutes les personnes qui, un jour ou l'autre, ont été confrontées à un évènement qui a irrémédiablement et profondément bouleversé leur trajectoire de vie. À celles et ceux pour qui il y a eu un *avant* et un *après*. Que ces pages témoignent de l'importance de mieux comprendre ce que le trauma laisse derrière : des fragments de souvenirs envahissants, des cicatrices invisibles, mais aussi, souvent, une force insoupçonnée. Puisse la recherche continuer de tracer des chemins, non seulement pour expliquer les mécanismes de la souffrance, mais aussi pour soutenir la résilience.

Références générales

- Agren, T., Hoppe, J. M., Singh, L., Holmes, E. A., & Rosén, J. (2021). The neural basis of tetris gameplay: Implicating the role of visuospatial processing. *Current Psychology: A Journal for Diverse Perspectives on Diverse Psychological Issues*, *42*, 8156-8163. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-02081-z>
- Ahmadizadeh, M. J., Rezaei, M., & Fitzgerald, P. B. (2019). Transcranial direct current stimulation (tDCS) for post-traumatic stress disorder (PTSD): A randomized, double-blinded, controlled trial. *Brain Research Bulletin*, *153*, 273-278. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2019.09.011>
- American Psychiatric Association (APA) (2013). *DSM-5: Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed.). American Psychiatric Publishing. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed., text rev.). <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425787>
- Arnaudova, I., & Hagenaars, M. A. (2017). Lights... action: Comparison of trauma films for use in the trauma film paradigm. *Behaviour Research and Therapy*, *93*, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2017.02.007>
- Arntz, A., de Groot, C., & Kindt, M. (2005). Emotional memory is perceptual. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *36*(1), 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2004.11.003>
- Askovic, M., Soh, N., Elhindi, J., & Harris, A. W. (2023). Neurofeedback for post-traumatic stress disorder: Systematic review and meta-analysis of clinical and neurophysiological outcomes. *European Journal of Psychotraumatology*, *14*(2), Article 2257435. <https://doi.org/10.1080/20008066.2023.2257435>
- Aspelund, S. G., Lorange, H. L., Halldorsdottir, T., Baldursdottir, B., Valdimarsdottir, H., Valdimarsdottir, U., & Hjördísar Jónsdóttir, H. L. (2025). Assessing neurocognitive outcomes in PTSD: A multilevel meta-analytical approach. *European Journal of Psychotraumatology*, *16*(1), Article 2469978. <https://doi.org/10.1080/20008066.2025.2469978>
- Aupperle, R. L., Melrose, A. J., Stein, M. B., & Paulus, M. P. (2012). Executive function and PTSD: Disengaging from trauma. *Neuropharmacology*, *62*(2), 686-694. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2011.02.008>

- Awh, E., Vogel, E. K., & Oh, S. H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, *139*(1), 201-208. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.08.023>
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1-29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baird, B., Smallwood, J., Fishman, D. J., Mrazek, M. D., & Schooler, J. W. (2013). Unnoticed intrusions: Dissociations of meta-consciousness in thought suppression. *Consciousness and Cognition*, *22*(3), 1003-1012. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.06.009>
- Barsalou, L. W. (2005). Abstraction as dynamic interpretation in perceptual symbol systems. Dans L. Gershkoff-Stowe & D. H. Rakison (Éds), *Building object categories in developmental time* (pp. 389-431). Lawrence Erlbaum Associates Publishers. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1319>
- Bassford, A. D. (2024). PTSD and Rilkean memory. *Review of Philosophy and Psychology*. <https://doi.org/10.1007/s13164-024-00750-z>
- Battaglini, E., Liddell, B. J., Das, P., Malhi, G. S., Felmingham, K., & Bryant, R. A. (2018). An investigation of potential neural correlates of intrusive retrieval of distressing memories. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *58*, 60-67. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2017.08.004>
- Beers, S. R., & De Bellis, M. D. (2002). Neuropsychological function in children with maltreatment-related posttraumatic stress disorder. *The American Journal of Psychiatry*, *159*(3), 483-486. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.159.3.483>
- Beierl, E. T., Böllinghaus, I., Clark, D. M., Glucksman, E., & Ehlers, A. (2020). Cognitive paths from trauma to posttraumatic stress disorder: A prospective study of Ehlers and Clark's model in survivors of assaults or road traffic collisions. *Psychological Medicine*, *50*(13), 2172-2181. <https://doi.org/10.1017/S0033291719002253>
- Belsher, B. E., Beech, E. H., Reddy, M. K., Smolenski, D. J., Rauch, S. A. M., Kelber, M., Issa, F., Lewis, C., & Bisson, J. I. (2021). Advances in repetitive transcranial magnetic stimulation for posttraumatic stress disorder: A systematic review. *Journal of Psychiatric Research*, *138*, 598-606. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2021.05.011>

- Benjet, C., Bromet, E., Karam, E. G., Kessler, R. C., McLaughlin, K. A., Ruscio, A. M., Shahly, V., Stein, D. J., Petukhova, M., Hill, E., Alonso, J., Atwoli, L., Bunting, B., Bruffaerts, R., Caldas-de-Almeida, J. M., de Girolamo, G., Florescu, S., Guereje, O., Huang, Y., Lepine, J. P., ... & Koenen, K. C. (2016). The epidemiology of traumatic event exposure worldwide: Results from the World Mental Health Survey Consortium. *Psychological Medicine*, *46*(2), 327-343. <https://doi.org/10.1017/S0033291715001981>
- Berntsen, D., & Rubin, D. C. (2008). The reappearance hypothesis revisited: Recurrent involuntary memories after traumatic events and in everyday life. *Memory & Cognition*, *36*(2), 449-460. <https://doi.org/10.3758/MC.36.2.449>
- Bielecki, M., Popiel, A., Zawadzki, B., & Sedek, G. (2017). Age as moderator of emotional Stroop task performance in posttraumatic stress disorder (PTSD). *Frontiers in Psychology*, *8*, Article 1614. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01614>
- Bisson-Desrochers, A., Rouleau, I., Angehrn, A., Vasiliadis, H.-M., Saumier, D., & Brunet, A. (2021). Trauma on duty: Cognitive functioning in police officers with and without posttraumatic stress disorder (PTSD). *European Journal of Psychotraumatology*, *12*(1). <https://doi.org/10.1080/20008198.2021.1959117>
- Blanchette, I., & Caparos, S. (2016). Working memory function is linked to trauma exposure, independently of post-traumatic stress disorder symptoms. *Cognitive Neuropsychiatry*, *21*(6), 494-509. <https://doi.org/10.1080/13546805.2016.1236015>
- Blanchette, I., & Giroux, S.-V. (2021). Reasoning, trauma, and PTSD: Insights into emotion-cognition interactions. Dans V. Cardella & A. Gangemi (Éds), *Psychopathology and philosophy of mind: What mental disorders can tell us about our minds* (pp. 55-74). Routledge/Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9781003009856-5>
- Blanchette, I., Rutembesa, E., Habimana, E., & Caparos, S. (2019). Long-term cognitive correlates of exposure to trauma: Evidence from Rwanda. *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*, *11*(2), 147-155. <https://doi.org/10.1037/tra0000388>
- Bomyea, J., & Amir, N. (2011). The effect of an executive functioning training program on working memory capacity and intrusive thoughts. *Cognitive Therapy and Research*, *35*(6), 529-535. <https://doi.org/10.1007/s10608-011-9369-8>
- Bomyea, J., Amir, N., & Lang, A. J. (2012). The relationship between cognitive control and posttraumatic stress symptoms. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *43*(2), 844-848. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2011.12.001>

- Bomyea, J., Caudle, M. M., Bartolovich, A. L., Simmons, A. N., Jak, A. J., & Golshan, S. (2025). Randomized controlled trial of computerized working memory training for Veterans with PTSD. *Journal of Psychiatric Research, 181*, 350-357. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2024.11.072>
- Bomyea, J., Stein, M. B., & Lang, A. J. (2015). Interference control training for PTSD: A randomized controlled trial of a novel computer-based intervention. *Journal of Anxiety Disorders, 34*, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2015.05.010>
- Botto, M., & Palladino, P. (2016). Time and interference: Effects on working memory. *British Journal of Psychology, 107*(2), 239-258. <https://doi.org/10.1111/bjop.12140>
- Bourne, C., Mackay, C. E., & Holmes, E. A. (2013). The neural basis of flashback formation: The impact of viewing trauma. *Psychological Medicine, 43*(7), 1521-1532. <https://doi.org/10.1017/S0033291712002358>
- Boyd, J. E., O'Connor, C., Protopopescu, A., Jetly, R., Rhind, S. G., Lanius, R. A., & McKinnon, M. C. (2019). An open-label feasibility trial examining the effectiveness of a cognitive training program, Goal Management Training, in individuals with posttraumatic stress disorder. *Chronic Stress, 3*. <https://doi.org/10.1177/2470547019841599>
- Breslau, N., Lucia, V. C., & Alvarado, G. F. (2006). Intelligence and other predisposing factors in exposure to trauma and posttraumatic stress disorder: A follow-up study at age 17 years. *Archives of General Psychiatry, 63*(11), 1238-1245. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.63.11.1238>
- Brewin, C. R. (2014). Episodic memory, perceptual memory, and their interaction: Foundations for a theory of posttraumatic stress disorder. *Psychological Bulletin, 140*(1), 69-97. <https://doi.org/10.1037/a0033722>
- Brewin, C. R., Andrews, B., & Valentine, J. D. (2000). Meta-analysis of risk factors for posttraumatic stress disorder in trauma-exposed adults. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 68*(5), 748-766. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.68.5.748>
- Brewin, C. R., Atwoli, L., Bisson, J. I., Galea, S., Koenen, K., & Lewis, F. R. (2025). Post-traumatic stress disorder: Evolving conceptualization and evidence, and future research directions. *World Psychiatry, 24*(1), 52-80. <https://doi.org/10.1002/wps.21269>
- Brewin, C. R., Gregory, J. D., Lipton, M., & Burgess, N. (2010). Intrusive images in psychological disorders: Characteristics, neural mechanisms, and treatment implications. *Psychological Review, 117*(1), 210-232. <https://doi.org/10.1037/a0018113>

- Brewin, C. R., & Holmes, E. A. (2003). Psychological theories of posttraumatic stress disorder. *Clinical Psychology Review, 23*(3), 339-376. [https://doi.org/10.1016/s0272-7358\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/s0272-7358(03)00033-3)
- Brewin, C. R., & Smart, L. (2005). Working memory capacity and suppression of intrusive thoughts. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 36*(1), 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2004.11.006>
- Bryant, R. A., Creamer, M., O'Donnell, M., Forbes, D., McFarlane, A. C., Silove, D., & Hadzi-Pavlovic, D. (2017). Acute and chronic posttraumatic stress symptoms in the emergence of posttraumatic stress disorder: A network analysis. *JAMA Psychiatry, 74*(2), 135-142. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2016.3470>
- Buckley, T. C., Blanchard, E. B., & Neill, W. T. (2000). Information processing and PTSD: A review of the empirical literature. *Clinical Psychology Review, 20*(8), 1041-1065. [https://doi.org/10.1016/S0272-7358\(99\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0272-7358(99)00030-6)
- Burback, L., Brémault-Phillips, S., Nijdam, M. J., McFarlane, A., & Vermetten, E. (2024). Treatment of posttraumatic stress disorder: A state-of-the-art review. *Current Neuropharmacology, 22*(4), 557-635. <https://doi.org/10.2174/1570159X21666230428091433>
- Camina, E., & Güell, F. (2017). The neuroanatomical, neurophysiological and psychological basis of memory: Current models and their origins. *Frontiers in Pharmacology, 8*, Article 438. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00438>
- Caparos, S., & Blanchette, I. (2014). Emotional Stroop interference in trauma-exposed individuals: A contrast between two accounts. *Consciousness and Cognition, 28*, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.06.009>
- Carlson, J. M., Aday, J. S., & Rubin, D. (2019). Temporal dynamics in attention bias: Effects of sex differences, task timing parameters, and stimulus valence. *Cognition and Emotion, 33*(6), 1271-1276. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1536648>
- Chambers, C. D., & Tzavella, L. (2022). The past, present and future of registered reports. *Nature Human Behaviour, 6*(1), 29-42. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01193-7>
- Chen, Y. N., Mitra, S., & Schlaghecken, F. (2008). Sub-processes of working memory in the N-back task: An investigation using ERPs. *Clinical Neurophysiology, 119*(7), 1546-1559. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.03.003>
- Chen, Y. N., Spagna, A., Wu, T., Kim, T. H., Wu, Q., Chen, C., Wu, Y., & Fan, J. (2019). Testing a cognitive control model of human intelligence. *Scientific Reports, 9*(1), Article 2898. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39685-2>

- Choi, M.-H., Min, Y.-K., Kim, H.-S., Kim, J.-H., Yeon, H.-W., Choi, J.-S., & Chung, S.-C. (2013). Effects of three levels of arousal on 3-back working memory task performance. *Cognitive Neuroscience*, 4(1), 1-6. <https://doi.org/10.1080/17588928.2011.634064>
- Chou, C. Y., La Marca, R., Steptoe, A., & Brewin, C. R. (2014). Biological responses to trauma and the development of intrusive memories: An analog study with the trauma film paradigm. *Biological Psychology*, 103, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.08.002>
- Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2024a). Validation of a trauma film: Emotional responses, intrusive memories and concept activations. *Cognitive Therapy and Research*, 49, 403-414. <https://doi.org/10.1007/s10608-024-10539-0>
- Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2024b). An investigation of the mechanisms underlying the link between abstract reasoning and intrusive memories: A trauma analogue study. *Consciousness and Cognition*, 117, Article 103609. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2023.103609>
- Chouinard-Gaouette, L., & Blanchette, I. (2025). Do emotionally negative events impair working memory as a result of intrusive thoughts? *Memory*, 33(4), 390-403. <https://doi.org/10.1080/09658211.2025.2461153>
- Cisler, J. M., Wolitzky-Taylor, K. B., Adams Jr, T. G., Babson, K. A., Badour, C. L., & Willems, J. L. (2011). The emotional Stroop task and posttraumatic stress disorder: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 31(5), 817-828. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2011.03.007>
- Curci, A., Lanciano, T., Soleti, E., & Rimé, B. (2013). Negative emotional experiences arouse rumination and affect working memory capacity. *Emotion*, 13(5), 867-880. <https://doi.org/10.1037/a0032492>
- Clark, I. A., Holmes, E. A., Woolrich, M. W., & Mackay, C. E. (2016). Intrusive memories to traumatic footage: The neural basis of their encoding and involuntary recall. *Psychological Medicine*, 46(3), 505-518. <https://doi.org/10.1017/S0033291715002007>
- Clark, J. M. R., Keller, A. V., Maye, J. E., Jak, A. J., O'Neil, M. E., Williams, R. M., Turner, A. P., Pagulayan, K. F., & Twamley, E. W. (2024). Neuropsychological correlates of PTSD and depressive symptom improvement in compensatory cognitive training for veterans with a history of mild traumatic brain injury. *Military Medicine*, 189(5-6), e1263-e1269. <https://doi.org/10.1093/milmed/usad442>

- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Therriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, *30*(2), 163-184. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00096-4](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00096-4)
- Conway, M. A. (2001). Sensory-perceptual episodic memory and its context: Autobiographical memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *356*(1413), 1375-1384. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0940>
- Conway, M. A., & Pleydell-Pearce, C. W. (2000). The construction of autobiographical memories in the self-memory system. *Psychological Review*, *107*(2), 261-288. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.107.2.261>
- Cottencin, O., Vaiva, G., Huron, C., Devos, P., Ducrocq, F., Jouvent, R., Goudemand, M., & Thomas, P. (2006). Directed forgetting in PTSD: A comparative study versus normal controls. *Journal of Psychiatric Research*, *40*(1), 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2005.04.001>
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, *19*(1), 51-57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- Cowan, N., Bao, C., Bishop-Chrzanowski, B. M., Costa, A. N., Greene, N. R., Guitard, D., Li, C., Musich, M. L., & Ünal, Z. E. (2024). The relation between attention and memory. *Annual Review of Psychology*, *75*, 183-214. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-040723-012736>
- Cowan, N., Elliott, E. M., Saults, J. S., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A., & Conway, A. R. A. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, *51*(1), 42-100. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2004.12.001>
- Cristea, I. A., Naudet, F., Shanks, D. R., & Hardwicke, T. E. (2018). Post-retrieval Tetris should not be likened to a 'cognitive vaccine.' *Molecular Psychiatry*, *23*(10), 1972-1973. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.222>
- Cukor, J., Olden, M., Lee, F., & Difede, J. (2010). Evidence-based treatments for PTSD, new directions, and special challenges. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1208*(1), 82-89. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05793.x>

- Dalgleish, T. (1995). Performance on the emotional Stroop task in groups of anxious, expert, and control subjects: A comparison of computer and card presentation formats. *Cognition and Emotion*, 9(4), 341-362. <https://doi.org/10.1080/02699939508408971>
- Damis, L. F. (2022). The role of implicit memory in the development and recovery from trauma-related disorders. *NeuroSci*, 3(1), 63-88. <https://doi.org/10.3390/neurosci3010005>
- Deldar, Z., Blanchette, I., & Piché, M. (2021). Reduction of pain and spinal nociceptive transmission by working memory is load dependant. *The Journal of Pain*, 22(7), 797-805. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2021.02.001>
- Delis, D. C., Kaplan, E., & Kramer, J. (2007). *Delis-Kaplan executive function system: Color-word interference test: Handleiding*. Pearson.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18(1), 193-222. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.18.030195.001205>
- DiGangi, J. A., Gomez, D., Mendoza, L., Jason, L. A., Keys, C. B., & Koenen, K. C. (2013). Pretrauma risk factors for posttraumatic stress disorder: A systematic review of the literature. *Clinical Psychology Review*, 33(6), 728-744. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2013.05.002>
- Di Russo, F., Martínez, A., Sereno, M. I., Pitzalis, S., & Hillyard, S. A. (2002). Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Human brain Mapping*, 15(2), 95-111. <https://doi.org/10.1002/hbm.10010>
- Durand, F., Isaac, C., & Januel, D. (2019). Emotional memory in post-traumatic stress disorder: A systematic PRISMA review of controlled studies. *Frontiers in Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00303>
- Ehlers, A., & Clark, D. M. (2000). A cognitive model of posttraumatic stress disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 38(4), 319-345. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(99\)00123-0](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(99)00123-0)
- Ehlers, A., Hackmann, A., & Michael, T. (2004). Intrusive re-experiencing in post-traumatic stress disorder: Phenomenology, theory, and therapy. *Memory*, 12(4), 403-415. <https://doi.org/10.1080/09658210444000025>

- Ehlers, A., Hackmann, A., Steil, R., Clohessy, S., Wenninger, K., & Winter, H. (2002). The nature of intrusive memories after trauma: The warning signal hypothesis. *Behaviour Research and Therapy*, *40*(9), 995-1002. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(01\)00077-8](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(01)00077-8)
- Ehlers, A., Mayou, R. A., & Bryant, B. (2003). Cognitive predictors of posttraumatic stress disorder in children: Results of a prospective longitudinal study. *Behaviour Research and Therapy*, *41*(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(01\)00126-7](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(01)00126-7)
- Ehlers, A., Michael, T., Chen, Y. P., Payne, E., & Shan, S. (2006). Enhanced perceptual priming for neutral stimuli in a traumatic context: A pathway to intrusive memories? *Memory*, *14*(3), 316-328. <https://doi.org/10.1080/09658210500305876>
- Elzinga, B. M., & Bremner, J. D. (2002). Are the neural substrates of memory the final common pathway in posttraumatic stress disorder (PTSD)? *Journal of Affective Disorders*, *70*(1), 1-17. [https://doi.org/10.1016/S0165-0327\(01\)00351-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0327(01)00351-2)
- Emdad, R., & Söndergaard, H. P. (2006). General intelligence and short-term memory impairments in Post Traumatic Stress Disorder patients. *Journal of Mental Health*, *15*(2), 205-216. <https://doi.org/10.1080/09638230600608966>
- Esterman, M., DeGutis, J., Mercado, R., Rosenblatt, A., Vasterling, J. J., Milberg, W., & McGlinchey, R. (2013). Stress-related psychological symptoms are associated with increased attentional capture by visually salient distractors. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *19*(7), 835-840. <https://doi.org/10.1017/S135561771300057X>
- Eysenck, M. W., Derakshan, N., Santos, R., & Calvo, M. G. (2007). Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. *Emotion*, *7*(2), 336-353. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336>
- Figueira, J. S., Oliveira, L., Pereira, M. G., Pacheco, L. B., Lobo, I., Motta-Ribeiro, G. C., & David, I. A. (2017). An unpleasant emotional state reduces working memory capacity: Electrophysiological evidence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *12*(6), 984-992. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx030>
- Flaks, M. K., Malta, S. M., Almeida, P. P., Bueno, O. F. A., Pupo, M. C., Andreoli, S. B., Mello, M. F., Lacerda, A. L. T., Mari, J. J., & Bressan, R. A. (2014). Attentional and executive functions are differentially affected by post-traumatic stress disorder and trauma. *Journal of Psychiatric Research*, *48*(1), 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2013.10.009>

- Fuge, P., Aust, S., Fan, Y., Weigand, A., Gärtner, M., Feeser, M., Bajbouj, M., & Grimm, S. (2014). Interaction of early life stress and corticotropin-releasing hormone receptor gene: Effects on working memory. *Biological Psychiatry*, *76*(11), 888-894. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.04.016>
- Gagnepain, P., Hulbert, J., & Anderson, M. C. (2017). Parallel regulation of memory and emotion supports the suppression of intrusive memories. *The Journal of Neuroscience*, *37*(27), 6423-6441. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2732-16.2017>
- Galatzer-Levy, I. R., Huang, S. H., & Bonanno, G. A. (2018). Trajectories of resilience and dysfunction following potential trauma: A review and statistical evaluation. *Clinical Psychology Review*, *63*, 41-55. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2018.05.008>
- Georgescu, T., & Nedelcea, C. (2024). Pretrauma risk factors and posttraumatic stress disorder symptoms following subsequent exposure: Multilevel and univariate meta-analytical approaches. *Clinical Psychology & Psychotherapy*, *31*(1). <https://doi.org/10.1002/cpp.2912>
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological measures of working memory and individual differences in cognitive ability and cognitive style. *Cerebral Cortex*, *10*(9), 829-839. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.9.829>
- Gilbertson, M. W., Paulus, L. A., Williston, S. K., Gurvits, T. V., Lasko, N. B., Pitman, R. K., & Orr, S. P. (2006). Neurocognitive function in monozygotic twins discordant for combat exposure: Relationship to posttraumatic stress disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, *115*(3), 484-495. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.115.3.484>
- Goodman, J. B., Freeman, E. E., & Chalmers, K. A. (2019). The relationship between early life stress and working memory in adulthood: A systematic review and meta-analysis. *Memory*, *27*(6), 868-880. <https://doi.org/10.1080/09658211.2018.1561897>
- Gould, F., Dunlop, B. W., Rosenthal, J. B., Iosifescu, D. V., Mathew, S. J., Neylan, T. C., Rothbaum, B. O., Nemeroff, C. B., & Harvey, P. D. (2019). Temporal stability of cognitive functioning and functional capacity in women with posttraumatic stress disorder. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *34*(4), 539-547. <https://doi.org/10.1093/arclin/acy064>
- Grégoire, L., Landry, L., Gustafsson, E., & Blanchette, I. (2021). Alteration of early attentional processing after analogue trauma exposure: Evidence from event-related potentials. *Experimental Brain Research*, *239*(12), 3671-3686. <https://doi.org/10.1007/s00221-021-06234-1>

- Grey, N., & Holmes, E. A. (2008). “Hotspots” in trauma memories in the treatment of post-traumatic stress disorder: A replication. *Memory, 16*(7), 788-796. <https://doi.org/10.1080/09658210802266446>
- Grissmann, S., Faller, J., Scharinger, C., Spüler, M., & Gerjets, P. (2017). Electroencephalography based analysis of working memory load and affective valence in an n-back task with emotional stimuli. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*, Article 616. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00616>
- Guskjolen, A., & Cembrowski, M. S. (2023). Engram neurons: Encoding, consolidation, retrieval, and forgetting of memory. *Molecular Psychiatry, 28*(8), 3207-3219. <https://doi.org/10.1038/s41380-023-02137-5>
- Gvozdanic, G. A., Stämpfli, P., Seifritz, E., & Rasch, B. (2017). Neural correlates of experimental trauma memory retrieval. *Human Brain Mapping, 38*(7), 3592-3602. <https://doi.org/10.1002/hbm.23613>
- Haag, C., Robinaugh, D. J., Ehlers, A., & Kleim, B. (2017). Understanding the emergence of chronic posttraumatic stress disorder through acute stress symptom networks. *JAMA Psychiatry, 74*(6), 649-650. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2017.0788>
- Haaland, K. Y., Sadek, J. R., Keller, J. E., & Castillo, D. T. (2016). Neurocognitive correlates of successful treatment of PTSD in female Veterans. *Journal of the International Neuropsychological Society, 22*(6), 643-651. <https://doi.org/10.1017/S1355617716000424>
- Hackmann, A., Ehlers, A., Speckens, A., & Clark, D. M. (2004). Characteristics and content of intrusive memories in PTSD and their changes with treatment. *Journal of Traumatic Stress, 17*(3), 231-240. <https://doi.org/10.1023/B:JOTS.0000029266.88369.fd>
- Haering, S., Schulze, L., Geiling, A., Meyer, C., Klusmann, H., Schumacher, S., Knaevelsrud, C., & Engel, S. (2024). Higher risk—less data: A systematic review and meta-analysis on the role of sex and gender in trauma research. *Journal of Psychopathology and Clinical Science, 133*(3), 257-272. <https://doi.org/10.1037/abn0000899>
- Hagenaars, M. A., Brewin, C. R., van Minnen, A., Holmes, E. A., & Hoogduin, K. A. (2010). Intrusive images and intrusive thoughts as different phenomena: Two experimental studies. *Memory, 18*(1), 76-84. <https://doi.org/10.1080/09658210903476522>

- Halligan, S. L., Clark, D. M., & Ehlers, A. (2002). Cognitive processing, memory, and the development of PTSD symptoms: Two experimental analogue studies. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 33(2), 73-89. [https://doi.org/10.1016/s0005-7916\(02\)00014-9](https://doi.org/10.1016/s0005-7916(02)00014-9)
- Halligan, S. L., Michael, T., Clark, D. M., & Ehlers, A. (2003). Posttraumatic stress disorder following assault: The role of cognitive processing, trauma memory, and appraisals. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 71(3), 419-431. <https://doi.org/10.1037/0022-006X.71.3.419>
- Harris, A., & Reece, J. (2021). Transcranial magnetic stimulation as a treatment for posttraumatic stress disorder: A meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 289, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2021.04.003>
- Holmes, E. A., & Bourne, C. (2008). Inducing and modulating intrusive emotional memories: A review of the trauma film paradigm. *Acta Psychologica*, 127(3), 553-566. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2007.11.002>
- Holmes, E. A., Brewin, C. R., & Hennessy, R. G. (2004). Trauma films, information processing, and intrusive memory development. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 3-22. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.3>
- Holmes, E. A., James, E. L., Coode-Bate, T., & Deeprose, C. (2009). Can playing the computer game “Tetris” reduce the build-up of flashbacks for trauma? A proposal from cognitive science. *PLoS One*, 4(1), Article e4153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004153>
- Holmes, E. A., James, E. L., Kilford, E. J., & Deeprose, C. (2010). Key steps in developing a cognitive vaccine against traumatic flashbacks: Visuospatial Tetris versus verbal Pub Quiz. *PLoS One*, 5(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013706>
- Hooghe, M., Stolle, D., Mahéo, V.-A., & Vissers, S. (2010). Why can't a student be more like an average person? Sampling and attrition effects in social science field and laboratory experiments. *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 628(1), 85-96. <https://doi.org/10.1177/0002716209351516>
- Hsu, C.-M. K., Ney, L. J., Honan, C., & Felmingham, K. L. (2021). Gonadal steroid hormones and emotional memory consolidation: A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 130, 529-542. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.09.010>
- Hu, X., Bergström, Z. M., Gagnepain, P., & Anderson, M. C. (2017). Suppressing unwanted memories reduces their unintended influences. *Current Directions in Psychological Science*, 26(2), 197-206. <https://doi.org/10.1177/0963721417689881>

- Imbir, K. K., Duda-Goławska, J., Pastwa, M., Jankowska, M., Modzelewska, A., Sobieszek, A., & Żygierewicz, J. (2020). Electrophysiological and behavioral correlates of valence, arousal and subjective significance in the lexical decision task. *Frontiers in Human Neuroscience, 14*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.567220>
- Imbir, K. K., Spustek, T., & Żygierewicz, J. (2016). Effects of valence and origin of emotions in word processing evidenced by event related potential correlates in a lexical decision task. *Frontiers in Psychology, 7*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00271>
- Iyadurai, L., Blackwell, S. E., Meiser-Stedman, R., Watson, P. C., Bonsall, M. B., Geddes, J. R., Nobre, A. C., & Holmes, E. A. (2018). Preventing intrusive memories after trauma via a brief intervention involving Tetris computer game play in the emergency department: A proof-of-concept randomized controlled trial. *Molecular Psychiatry, 23*(3), 674-682. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.23>
- Iyadurai, L., Visser, R. M., Lau-Zhu, A., Porcheret, K., Horsch, A., Holmes, E. A., & James, E. L. (2019). Intrusive memories of trauma: A target for research bridging cognitive science and its clinical application. *Clinical Psychology Review, 69*, 67-82. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2018.08.005>
- Jacob, S. N., Dodge, C. P., & Vasterling, J. J. (2019). Posttraumatic stress disorder and neurocognition: A bidirectional relationship? *Clinical Psychology Review, 72*, Article 101747. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2019.101747>
- James, E. L., Lau-Zhu, A., Clark, I. A., Visser, R. M., Hagedaars, M. A., & Holmes, E. A. (2016). The trauma film paradigm as an experimental psychopathology model of psychological trauma: Intrusive memories and beyond. *Clinical Psychology Review, 47*, 106-142. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.04.010>
- Jenkins, M. A., Langlais, P. J., Delis, D., & Cohen, R. A. (2000). Attentional dysfunction associated with posttraumatic stress disorder among rape survivors. *The Clinical Neuropsychologist, 14*(1), 7-12. [https://doi.org/10.1076/1385-4046\(200002\)14:1;1-8;FT007](https://doi.org/10.1076/1385-4046(200002)14:1;1-8;FT007)
- Johnson, J. D., Allana, T. N., Medlin, M. D., Harris, E. W., & Karl, A. (2013). Meta-analytic review of P3 components in posttraumatic stress disorder and their clinical utility. *Clinical EEG and Neuroscience, 44*(2), 112-134. <https://doi.org/10.1177/1550059412469742>
- Kan, R. L., Zhang, B. B., Zhang, J. J., & Kranz, G. S. (2020). Non-invasive brain stimulation for posttraumatic stress disorder: A systematic review and meta-analysis. *Translational Psychiatry, 10*(1), Article 168. <https://doi.org/10.1038/s41398-020-0851-5>

- Kark, S. M., Slotnick, S. D., & Kensinger, E. A. (2020). Forgotten but not gone: FMRI evidence of implicit memory for negative stimuli 24 hours after the initial study episode. *Neuropsychologia*, *136*, Article 107277. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107277>
- Kehyayan, A., Thiel, J. P., Unterberg, K., Salja, V., Meyer-Wehrmann, S., Holmes, E. A., Matura, J.-M., Dieris-Hirche, J., Timmesfeld, N., Herpertz, S., Axmacher, N., & Kessler, H. (2024). The effect of a visuospatial interference intervention on posttraumatic intrusions: A cross-over randomized controlled trial. *European Journal of Psychotraumatology*, *15*(1). <https://doi.org/10.1080/20008066.2024.2331402>
- Kensinger, E. A. (2009). Remembering the details: Effects of emotion. *Emotion Review*, *1*(2), 99-113. <https://doi.org/10.1177/1754073908100432>
- Kensinger, E. A., & Corkin, S. (2004). Two routes to emotional memory: Distinct neural processes for valence and arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(9), 3310-3315. <https://doi.org/10.1073/pnas.0306408101>
- Kessler, R. C., Aguilar-Gaxiola, S., Alonso, J., Bromet, E. J., Gureje, O., Karam, E. G., Koenen, K. C., Lee, S., Liu, H., Pennell, B.-E., Petukhova, M. V., Sampson, N. A., Shahly, V., Stein, D. J., Atwoli, L., Borges, G., Bunting, B., de Girolamo, G., Gluzman, S. F., ... Zaslavsky, A. M. (2018). The associations of earlier trauma exposures and history of mental disorders with PTSD after subsequent traumas. *Molecular Psychiatry*, *23*(9), 1892-1899. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.194>
- Kheloui, S., Brouillard, A., Rossi, M., Marin, M.-F., Mendrek, A., Paquette, D., & Juster, R.-P. (2021). Exploring the sex and gender correlates of cognitive sex differences. *Acta Psychologica*, *221*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2021.103452>
- Kilpatrick, D. G., Resnick, H. S., Milanak, M. E., Miller, M. W., Keyes, K. M., & Friedman, M. J. (2013). National estimates of exposure to traumatic events and PTSD prevalence using DSM-IV and DSM-5 criteria. *Journal of Traumatic Stress*, *26*(5), 537-547. <https://doi.org/10.1002/jts.21848>
- Kindt, M., van den Hout, M., Arntz, A., & Drost, J. (2008). The influence of data-driven versus conceptually-driven processing on the development of PTSD-like symptoms. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *39*(4), 546-557. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2007.12.003>
- Kleim, B., Ehlers, A., & Glucksman, E. (2007). Early predictors of chronic post-traumatic stress disorder in assault survivors. *Psychological Medicine*, *37*(10), 1457-1467. <https://doi.org/10.1017/S0033291707001006>

- Kleim, B., Ehring, T., & Ehlers, A. (2012). Perceptual processing advantages for trauma-related visual cues in post-traumatic stress disorder. *Psychological Medicine*, *42*(1), 173-181. <https://doi.org/10.1017/S0033291711001048>
- Klein, K., & Boals, A. (2001). The relationship of life event stress and working memory capacity. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, *15*(5), 565-579. <https://doi.org/10.1002/acp.727>
- Kobelt, M., Waldhauser, G. T., Rupietta, A., Heinen, R., Rau, E. M. B., Kessler, H., & Axmacher, N. (2024). The memory trace of an intrusive trauma-analog episode. *Current Biology*, *34*(8), 1657-1669. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.03.005>
- Koenen, K. C., Ratanatharathorn, A., Ng, L., McLaughlin, K. A., Bromet, E. J., Stein, D. J., Karam, E. G., Ruscio, A. M., Benjet, C., Scott, K., Atwoli, L., Petukhova, M., Lim, C. C. W., Aguilar-Gaxiola, S., Al-Hamzawi, A., Alonso, J., Bunting, B., Ciutan, M., de Girolamo, G., ... Kessler, R. C. (2017). Posttraumatic stress disorder in the World Mental Health Surveys. *Psychological Medicine*, *47*(13), 2260-2274. <https://doi.org/10.1017/S0033291717000708>
- Koso, M., & Hansen, S. (2006). Executive function and memory in posttraumatic stress disorder: A study of Bosnian war veterans. *European Psychiatry*, *21*(3), 167-173. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2005.06.004>
- Kovacevic, N., Meghdadi, A., & Berka, C. (2025). Characterizing PTSD using electrophysiology: Towards a precision medicine approach. *Clinical EEG and Neuroscience*, *0*(0). <https://doi.org/10.1177/15500594241309680>
- Kremen, W. S., Koenen, K. C., Boake, C., Purcell, S., Eisen, S. A., Franz, C. E., Tsuang, M. T., & Lyons, M. J. (2007). Pretrauma cognitive ability and risk for posttraumatic stress disorder. *Archives of General Psychiatry*, *64*(3), 361-368. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.64.3.361>
- Krikorian, R., & Layton, B. S. (1998). Implicit memory in posttraumatic stress disorder with amnesia for the traumatic event. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, *10*(3), 359-362. <https://doi.org/10.1176/jnp.10.3.359>
- Kube, T., Berg, M., Kleim, B., & Herzog, P. (2020). Rethinking post-traumatic stress disorder – A predictive processing perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *113*, 448-460. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.04.014>
- LaGarde, G., Doyon, J., & Brunet, A. (2010). Memory and executive dysfunctions associated with acute posttraumatic stress disorder. *Psychiatry Research*, *177*(1-2), 144-149. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2009.02.002>

- Landry, M., da Silva Castanheira, J. D., Baillet, S., Sackur, J., & Raz, A. (2022). Evidence for shared resources in visuospatial attention: Endogenous attention misleads the decoding of exogenous attention in alpha rhythms. *BioRxiv*, 2022-04.
- Landry, M., da Silva Castanheira, J., Raz, A., Baillet, S., & Sackur, J. (2024). A lateralized alpha-band marker of the interference of exogenous attention over endogenous attention. *Cerebral Cortex*, *34*(1), 1-17. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhad457>
- Laposa, J. M., & Rector, N. A. (2012). The prediction of intrusions following an analogue traumatic event: Peritraumatic cognitive processes and anxiety-focused rumination versus rumination in response to intrusions. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *43*(3), 877-883. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2011.12.007>
- Lazarov, A., Suarez-Jimenez, B., Tamman, A., Falzon, L., Zhu, X., Edmondson, D. E., & Neria, Y. (2019). Attention to threat in posttraumatic stress disorder as indexed by eye-tracking indices: A systematic review. *Psychological Medicine*, *49*(5), 705-726. <https://doi.org/10.1017/S0033291718002313>
- Leblanc-Sirois, Y., Chouinard-Gaouette, L., Grégoire, L., & Blanchette, I. (2021). Perceptual processing of stimuli related to an analogue traumatic event: An ERP study. *Brain and Cognition*, *153*, Article 105774. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2021.105774>
- Legrand, N., Etard, O., Viader, F., Clochon, P., Doidy, F., Eustache, F., & Gagnepain, P. (2022). Attentional capture mediates the emergence and suppression of intrusive memories. *IScience*, *25*(12) Article 105516. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105516>
- Leone, G., Casanave, H., Postel, C., Fraisse, F., Vallée, T., de La Sayette, V., Dayan, J., Peschanski, D., Eustache, F., & Gagnepain, P. (2025). Plasticity of human resilience mechanisms. *Science Advances*, *11*(2), Article eadq8336. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adq8336>
- Liberzon, I., & Abelson, J. L. (2016). Context processing and the neurobiology of post-traumatic stress disorder. *Neuron*, *92*(1), 14-30. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.09.039>
- Lin, X., Chen, D., Liu, J., Yao, Z., Xie, H., Anderson, M. C., & Hu, X. (2024). Observing the suppression of individual aversive memories from conscious awareness. *Cerebral Cortex*, *34*(6), Article bhae080. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhae080>
- Litz, B. T., Weathers, F. W., Monaco, V., Herman, D. S., Wulfsohn, M., Marx, B., & Keane, T. M. (1996). Attention, arousal, and memory in posttraumatic stress disorder. *Journal of Traumatic Stress*, *9*(3), 497-520. <https://doi.org/10.1002/jts.2490090308>

- Long, F., Ye, C., Li, Z., Tian, Y., & Liu, Q. (2020). Negative emotional state modulates visual working memory in the late consolidation phase. *Cognition and Emotion*, 34(8), 1646-1663. <https://doi.org/10.1080/02699931.2020.1795626>
- Luo, P., Jiang, Y., Dang, X., Huang, Y., Chen, X., & Zheng, X. (2013). Effects of different forms of verbal processing on the formation of intrusions. *Journal of Traumatic Stress*, 26(2), 288-294. <https://doi.org/10.1002/jts.21800>
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. MIT press.
- Mackie, M. A., Van Dam, N. T., & Fan, J. (2013). Cognitive control and attentional functions. *Brain and Cognition*, 82(3), 301-312. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.05.004>
- Macklin, M. L., Metzger, L. J., Litz, B. T., McNally, R. J., Lasko, N. B., Orr, S. P., & Pitman, R. K. (1998). Lower precombat intelligence is a risk factor for posttraumatic stress disorder. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 66(2), 323-326. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.66.2.323>
- MacNamara, A., Ferri, J., & Hajcak, G. (2011). Working memory load reduces the late positive potential and this effect is attenuated with increasing anxiety. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 11(3), 321-331. <https://doi.org/10.3758/s13415-011-0036-z>
- Malarbi, S., Abu-Rayya, H. M., Muscara, F., & Stargatt, R. (2017). Neuropsychological functioning of childhood trauma and post-traumatic stress disorder: A meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 72, 68-86. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.004>
- Mamat, Z., & Anderson, M. C. (2023). Improving mental health by training the suppression of unwanted thoughts. *Science Advances*, 9(38), Article eadh5292. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh5292>
- Mamat, Z., Levy, D. A., & Bayley, P. J. (2024). Reconsidering thought suppression and ironic processing: implications for clinical treatment of traumatic memories. *Frontiers in Psychology*, 15, Article 1496134. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1496134>
- Maren, S., Phan, K. L., & Liberzon, I. (2013). The contextual brain: Implications for fear conditioning, extinction and psychopathology. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(6), 417-428. <https://doi.org/10.1038/nrn3492>

- Marin, M.-F., Pilgrim, K., & Lupien, S. J. (2010). Modulatory effects of stress on reactivated emotional memories. *Psychoneuroendocrinology*, *35*(9), 1388-1396. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2010.04.002>
- Marks, E. H., Franklin, A. R., & Zoellner, L. A. (2018). Can't get it out of my mind: A systematic review of predictors of intrusive memories of distressing events. *Psychological Bulletin*, *144*(6), 584-640. <https://doi.org/10.1037/bul0000132>
- Marx, B. P., Doron-LaMarca, S., Proctor, S. P., & Vasterling, J. J. (2009). The influence of pre-deployment neurocognitive functioning on post-deployment PTSD symptom outcomes among Iraq-deployed Army soldiers. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *15*(6), 840-852. <https://doi.org/10.1017/S1355617709990488>
- Mary, A., Dayan, J., Leone, G., Postel, C., Fraise, F., Malle, C., Vallée, T., Klein-Peschanski, C., Viader, F., de la Sayette, V., Peschanski, D., Eustache, F., & Gagnepain, P. (2020). Resilience after trauma: The role of memory suppression. *Science*, *367*(6479), 1-13. <https://doi.org/10.1126/science.aay8477>
- Mathew, A. S., Lotfi, S., Bennett, K. P., Larsen, S. E., Dean, C., Larson, C. L., & Lee, H.-J. (2022). Association between spatial working memory and re-experiencing symptoms in PTSD. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *75*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2021.101714>
- Matura, J.-M., Kessler, H., Holmes, E. A., Timmesfeld, N., Tokic, M. C., Axmacher, N., Blackwell, S. E., Schmidt, A.-C., Schweer, J. M., Hippert, C., Apel, L., Dieris-Hirche, J., Herpertz, S., & Kehyayan, A. (2025). Comparing a new visuospatial intervention administered 3 days after a trauma film to reduce the occurrence of intrusive visual memories: A single-center randomized, controlled trial in healthy participants. *Frontiers in Psychology*, *15*, Article 1454086. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1454086>
- McFarlane, A. C. (2000). Posttraumatic stress disorder: A model of the longitudinal course and the role of the risk factors. *The Journal of Clinical Psychiatry*, *61*(Suppl 5), 15-23.
- McGaugh, J. L. (2004). The amygdala modulates the consolidation of memories of emotionally arousing experiences. *Annual Review of Neuroscience*, *27*, 1-28. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144157>
- McGaugh, J. L. (2015). Consolidating memories. *Annual Review of Psychology*, *66*, 1-24. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-014954>

- Meyer, D. E., & Schvaneveldt, R. W. (1971). Facilitation in recognizing pairs of words: Evidence of a dependence between retrieval operations. *Journal of Experimental Psychology*, *90*(2), 227-234. <https://doi.org/10.1037/h0031564>
- Meyer, T., Quaedflieg, C. W. E. M., Giesbrecht, T., Meijer, E. H., Abiad, S., & Smeets, T. (2014). Frontal EEG asymmetry as predictor of physiological responses to aversive memories. *Psychophysiology*, *51*(9), 853-865. <https://doi.org/10.1111/psyp.12230>
- Michael, T., & Ehlers, A. (2007). Enhanced perceptual priming for neutral stimuli occurring in a traumatic context: Two experimental investigations. *Behaviour Research and Therapy*, *45*(2), 341-358. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2006.03.012>
- Michael, T., Ehlers, A., & Halligan, S. L. (2005b). Enhanced priming for trauma-related material in Posttraumatic Stress Disorder. *Emotion*, *5*(1), 103-112. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.5.1.103>
- Michael, T., Ehlers, A., Halligan, S. L., & Clark, D. M. (2005a). Unwanted memories of assault: What intrusion characteristics are associated with PTSD? *Behaviour Research and Therapy*, *43*(5), 613-628. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2004.04.006>
- Miedl, S. F., Wegerer, M., Kerschbaum, H., Blechert, J., & Wilhelm, F. H. (2018). Neural activity during traumatic film viewing is linked to endogenous estradiol and hormonal contraception. *Psychoneuroendocrinology*, *87*, 20-26. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.10.006>
- Miller, J. K., McDougall, S., Thomas, S., & Wiener, J. M. (2017). Impairment in active navigation from trauma and Post-Traumatic Stress Disorder. *Neurobiology of Learning and Memory*, *140*, 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2017.02.019>
- Miller, L. N., Simmons, J. G., Whittle, S., Forbes, D., & Felmingham, K. (2021). The impact of posttraumatic stress disorder on event-related potentials in affective and non-affective paradigms: A systematic review with meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *122*, 120-142. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2020.12.027>
- Morina, N., Leibold, E., & Ehring, T. (2013). Vividness of general mental imagery is associated with the occurrence of intrusive memories. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *44*(2), 221-226. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2012.11.004>
- Murray, J., Ehlers, A., & Mayou, R. A. (2002). Dissociation and post-traumatic stress disorder: Two prospective studies of road traffic accident survivors. *The British Journal of Psychiatry*, *180*(4), 363-368. <https://doi.org/10.1192/bjp.180.4.363>

- Nader, K., Schafe, G. E., & LeDoux, J. E. (2000). The labile nature of consolidation theory. *Nature Reviews Neuroscience*, *1*(3), 216-219. <https://doi.org/10.1038/35044580>
- Nejati, V., Salehinejad, M. A., & Sabayee, A. (2018). Impaired working memory updating affects memory for emotional and non-emotional materials the same way: Evidence from post-traumatic stress disorder (PTSD). *Cognitive Processing*, *19*(1), 53-62. <https://doi.org/10.1007/s10339-017-0837-2>
- Nicholson, A. A., Ros, T., Jetly, R., & Lanius, R. A. (2020). Regulating posttraumatic stress disorder with neurofeedback: Regaining control of the mind. *Journal of Military, Veteran and Family Health*, *6*(Suppl 1), 3-15. <https://doi.org/10.3138/jmvfh.2019-0032>
- Nijdam, M. J., Vermetten, E., & McFarlane, A. C. (2023). Toward staging differentiation for posttraumatic stress disorder treatment. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *147*(1), 65-80. <https://doi.org/10.1111/acps.13520>
- Nisbett, R. E., Aronson, J., Blair, C., Dickens, W., Flynn, J., Halpern, D. F., & Turkheimer, E. (2012). Intelligence: New findings and theoretical developments. *American Psychologist*, *67*(2), 130-159. <https://doi.org/10.1037/a0026699>
- Nixon, R. D. V., Cain, N., Nehmy, T., & Seymour, M. (2009). Does post-event cognitive load undermine thought suppression and increase intrusive memories after exposure to an analogue stressor? *Memory*, *17*(3), 245-255. <https://doi.org/10.1080/09658210802592353>
- Norte, C. E., Vargas, A. L. V., & de Carvalho Silveira, A. (2024). Post-traumatic stress disorder and working memory: A systematic review. *Trends in Psychology*, *32*(2), 612-623. <https://doi.org/10.1007/s43076-022-00206-2>
- North, C. S., Surís, A. M., Smith, R. P., & King, R. V. (2016). The evolution of PTSD criteria across editions of DSM. *Annals of Clinical Psychiatry*, *28*(3), 197-208.
- Öhman, A. (2002). Automaticity and the amygdala: Nonconscious responses to emotional faces. *Current Directions in Psychological Science*, *11*(2), 62-66. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00169>
- Olatunji, B. O., Armstrong, T., McHugo, M., & Zald, D. H. (2013). Heightened attentional capture by threat in veterans with PTSD. *Journal of Abnormal Psychology*, *122*(2), 397-405. <https://doi.org/10.1037/a0030440>

- Olf, M. (2017). Sex and gender differences in post-traumatic stress disorder: An update. *European Journal of Psychotraumatology*, 8(Suppl 4). <https://doi.org/10.1080/20008198.2017.1351204>
- Olofsson, J.K., Nordin, S., Sequeira, H., & Polich, J. (2008) Affective picture processing: An integrative review of ERP findings. *Biological Psychology*, 77(3), 247-265. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2007.11.006>
- Op den Kelder, R., Van den Akker, A. L., Geurts, H. M., Lindauer, R. J. L., & Overbeek, G. (2018). Executive functions in trauma-exposed youth: A meta-analysis. *European Journal of Psychotraumatology*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/20008198.2018.1450595>
- Parslow, R. A., & Jorm, A. F. (2007). Pretrauma and posttrauma neurocognitive functioning and PTSD symptoms in a community sample of young adults. *The American Journal of Psychiatry*, 164(3), 509-515. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.164.3.509>
- Payne, A., Kralj, A., Young, J., & Meiser-Stedman, R. (2019). The prevalence of intrusive memories in adult depression: A meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 253, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.04.055>
- Pessoa, L. (2005). To what extent are emotional visual stimuli processed without attention and awareness? *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 188-196. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.002>
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control?. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.01.006>
- Pessoa, L., Kastner, S., & Ungerleider, L. G. (2002). Attentional control of the processing of neutral and emotional stimuli. *Cognitive Brain Research*, 15(1), 31-45. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00214-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00214-8)
- Peyrot, C., Duplessis-Marcotte, F., Provencher, J., & Marin, M.-F. (2024a). Understanding sex differences in extinction retention: Pre-extinction stress and sex hormone status. *Psychoneuroendocrinology*, 169, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2024.107161>
- Peyrot, C., Provencher, J., Duplessis Marcotte, F., Cernik, R., & Marin, M.-F. (2024b). Using unconditioned responses to predict fear acquisition, fear extinction learning, and extinction retention patterns: Sex hormone status matters. *Behavioural Brain Research*, 459, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2023.114802>

- Phelps, A. J., Steele, Z., Cowlshaw, S., Metcalf, O., Alkemade, N., Elliott, P., O'Donnell, M., Redston, S., Kerr, K., Howard, A., Nurse, J., Cooper, J., Armstrong, R., Fitzgerald, L., & Forbes, D. (2018). Treatment outcomes for military veterans with posttraumatic stress disorder: Response trajectories by symptom cluster. *Journal of Traumatic Stress, 31*(3), 401-409. <https://doi.org/10.1002/jts.22299>
- Phelps, E. A. (2004). Human emotion and memory: Interactions of the amygdala and hippocampal complex. *Current Opinion in Neurobiology, 14*(2), 198-202. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2004.03.015>
- Pineles, S. L., Shipherd, J. C., Mostoufi, S. M., Abramovitz, S. M., & Yovel, I. (2009). Attentional biases in PTSD: More evidence for interference. *Behaviour Research and Therapy, 47*(12), 1050-1057. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2009.08.001>
- Plancher, G., Massol, S., Dorel, T., & Chainay, H. (2019). Effect of negative emotional content on attentional maintenance in working memory. *Cognition and Emotion, 33*(7), 1489-1496. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1561420>
- Polak, A. R., Witteveen, A. B., Reitsma, J. B., & Olf, M. (2012). The role of executive function in posttraumatic stress disorder: A systematic review. *Journal of Affective Disorders, 141*(1), 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2012.01.001>
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology, 118*(10), 2128-2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Quaedflieg, C. W. E. M., & Schwabe, L. (2018). Memory dynamics under stress. *Memory, 26*(3), 364-376. <https://doi.org/10.1080/09658211.2017.1338299>
- Raij, T., Nummenmaa, A., Marin, M.-F., Porter, D., Furtak, S., Setsompop, K., & Milad, M. R. (2018). Prefrontal cortex stimulation enhances fear extinction memory in humans. *Biological Psychiatry, 84*(2), 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2017.10.022>
- Raftopoulos, A. (2024). Does the emotional modulation of visual experience entail the cognitive penetrability of early vision?. *Review of Philosophy and Psychology, 15*(4), 1307-1330. <https://doi.org/10.1007/s13164-023-00695-9>
- Ray, C. (1979). Examination stress and performance on a color-word interference test. *Perceptual and Motor Skills, 49*(2), 400-402. <https://doi.org/10.2466/pms.1979.49.2.400>
- Regambal, M. J., & Alden, L. E. (2009). Pathways to intrusive memories in a trauma analogue paradigm: A structural equation model. *Depression and Anxiety, 26*(2), 155-166. <https://doi.org/10.1002/da.20483>

- Ressler, K. J., Berretta, S., Bolshakov, V. Y., Rosso, I. M., Meloni, E. G., Rauch, S. L., & Carlezon Jr, W. A. (2022). Post-traumatic stress disorder: clinical and translational neuroscience from cells to circuits. *Nature Reviews Neurology*, *18*(5), 273-288. <https://doi.org/10.1038/s41582-022-00635-8>
- Ressler, K. J., & Mayberg, H. S. (2007). Targeting abnormal neural circuits in mood and anxiety disorders: From the laboratory to the clinic. *Nature Neuroscience*, *10*(9), 1116-1124. <https://doi.org/10.1038/nn1944>
- Ribeiro, F. S., Santos, F. H., & Albuquerque, P. B. (2019). How does allocation of emotional stimuli impact working memory tasks? An overview. *Advances in Cognitive Psychology*, *15*(2), 155-168. <https://doi.org/10.5709/acp-0265-y>
- Richardson, M. P., Strange, B. A., & Dolan, R. J. (2004). Encoding of emotional memories depends on amygdala and hippocampus and their interactions. *Nature Neuroscience*, *7*(3), 278-285. <https://doi.org/10.1038/nn1190>
- Riddle, J., Hwang, K., Cellier, D., Dhanani, S., & D'Esposito, M. (2019). Causal evidence for the role of neuronal oscillations in top-down and bottom-up attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *31*(5), 768-779. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01376
- Roediger, H. L. (1990). Implicit memory: Retention without remembering. *American Psychologist*, *45*(9), 1043-1056. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.9.1043>
- Roediger, H. L., Gallo, D. A., & Geraci, L. (2002). Processing approaches to cognition: The impetus from the levels-of-processing framework. *Memory*, *10*(5-6), 319-332. <https://doi.org/10.1080/09658210224000144>
- Rowe, G., Troyer, A. K., Murphy, K. J., Biss, R., & Hasher, L. (2023). Implicit processes enhance cognitive abilities in mild cognitive impairment. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *30*(2), 172-180. <https://doi.org/10.1080/13825585.2021.1998320>
- Rubin, D. C. (2022). A conceptual space for episodic and semantic memory. *Memory & Cognition*, *50*(3), 464-477. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01148-3>
- Rubin, D. C., Berntsen, D., & Bohni, M. K. (2008). A memory-based model of posttraumatic stress disorder: Evaluating basic assumptions underlying the PTSD diagnosis. *Psychological Review*, *115*(4), 985-1011. <https://doi.org/10.1037/a0013397>
- Rubin, D. C., Berntsen, D., Ogle, C. M., Deffler, S. A., & Beckham, J. C. (2016). Scientific evidence versus outdated beliefs: A response to Brewin (2016). *Journal of Abnormal Psychology*, *125*(7), 1018-1021. <https://doi.org/10.1037/abn0000211>

- Rubin, D. C., Dennis, M. F., & Beckham, J. C. (2011). Autobiographical memory for stressful events: The role of autobiographical memory in posttraumatic stress disorder. *Consciousness and Cognition: An International Journal*, *20*(3), 840-856. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.03.015>
- Salvador, A., Berkovitch, L., Vinckier, F., Cohen, L., Naccache, L., Dehaene, S., & Gaillard, R. (2018). Unconscious memory suppression. *Cognition*, *180*, 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.06.023>
- Sass, S. M., Heller, W., Stewart, J. L., Siltan, R. L., Edgar, J. C., Fisher, J. E., & Miller, G. A. (2010). Time course of attentional bias in anxiety: Emotion and gender specificity. *Psychophysiology*, *47*(2), 247-259. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00926.x>
- Saunders, N., Downham, R., Turman, B., Kropotov, J., Clark, R., Yumash, R., & Szatmary, A. (2015). Working memory training with tDCS improves behavioral and neurophysiological symptoms in pilot group with post-traumatic stress disorder (PTSD) and with poor working memory. *Neurocase*, *21*(3), 271-278. <https://doi.org/10.1080/13554794.2014.890727>
- Schacter, D. L. (2025). Explicit memory, implicit memory, and the hippocampus: Insights from early neuroimaging studies. *Hippocampus*, *35*(1), Article e23657. <https://doi.org/10.1002/hipo.23657>
- Scharinger, C., Soutschek, A., Schubert, T., & Gerjets, P. (2017). Comparison of the working memory load in n-back and working memory span tasks by means of EEG frequency band power and P300 amplitude. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, Article 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00006>
- Schein, J., Houle, C., Urganus, A., Cloutier, M., Patterson-Lomba, O., Wang, Y., King, S., Levinson, W., Guérin, A., Lefebvre, P., & Davis, L. L. (2021). Prevalence of post-traumatic stress disorder in the United States: A systematic literature review. *Current Medical Research and Opinion*, *37*(12), 2151-2161. <https://doi.org/10.1080/03007995.2021.1978417>
- Schwabe, L., Nader, K., & Pruessner, J. C. (2014). Reconsolidation of human memory: Brain mechanisms and clinical relevance. *Biological Psychiatry*, *76*(4), 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2014.03.008>
- Schweizer, S., Satpute, A. B., Atzil, S., Field, A. P., Hitchcock, C., Black, M., Barrett, L. F., & Dalgleish, T. (2019). The impact of affective information on working memory: A pair of meta-analytic reviews of behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Bulletin*, *145*(6), 566-609. <https://doi.org/10.1037/bul0000193>

- Scott, J. C., Matt, G. E., Wrocklage, K. M., Crnich, C., Jordan, J., Southwick, S. M., Krystal, J. H., & Schweinsburg, B. C. (2015). A quantitative meta-analysis of neurocognitive functioning in posttraumatic stress disorder. *Psychological Bulletin, 141*(1), 105-140. <https://doi.org/10.1037/a0038039>
- Shi, P., Yang, A., Zhao, Q., Chen, Z., Ren, X., & Dai, Q. (2021). A hypothesis of gender differences in self-reporting symptom of depression: Implications to solve under-diagnosis and under-treatment of depression in males. *Frontiers in Psychiatry, 12*. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2021.589687>
- Shipstead, Z., Harrison, T. L., & Engle, R. W. (2016). Working memory capacity and fluid intelligence: Maintenance and disengagement. *Perspectives on Psychological Science, 11*(6), 771-799. <https://doi.org/10.1177/1745691616650647>
- Shura, R. D., Epstein, E. L., Ord, A. S., Martindale, S. L., Rowland, J. A., Brearly, T. W., & Taber, K. H. (2020). Relationship between intelligence and posttraumatic stress disorder in veterans. *Intelligence, 82*, Article 101472. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2020.101472>
- Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The restless mind. *Psychological Bulletin, 132*(6), 946-958. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.6.946>
- Smith, N. K., Cacioppo, J. T., Larsen, J. T., & Chartrand, T. L. (2003). May I have your attention, please: Electrocortical responses to positive and negative stimuli. *Neuropsychologia, 41*(2), 171-183. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(02\)00147-1](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(02)00147-1)
- Sopp, M. R., Streb, M., Brueckner, A. H., Schäfer, S. K., Lass-Hennemann, J., Mecklinger, A., & Michael, T. (2020). Prospective associations between intelligence, working memory capacity, and intrusive memories of a traumatic film: Potential mediating effects of rumination and memory disorganization. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 70*, Article 101611. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2020.101611>
- Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory, 82*(3), 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2004.06.005>
- Squire, L. R., & Dede, A. J. (2015). Conscious and unconscious memory systems. *Cold Spring Harbor perspectives in Biology, 7*(3), Article a021667. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021667>

- Stein, M. B., Kennedy, C. M., & Twamley, E. W. (2002). Neuropsychological function in female victims of intimate partner violence with and without posttraumatic stress disorder. *Biological Psychiatry*, *52*(11), 1079-1088. [https://doi.org/10.1016/s0006-3223\(02\)01414-2](https://doi.org/10.1016/s0006-3223(02)01414-2)
- Steinert, C., Hofmann, M., Leichsenring, F., & Kruse, J. (2015). The course of PTSD in naturalistic long-term studies: High variability of outcomes A systematic review. *Nordic Journal of Psychiatry*, *69*(7), 483-496. <https://doi.org/10.3109/08039488.2015.1005023>
- Stirling, N. S., Nixon, R. D., & Takarangi, M. K. (2023). No more than discomfort: The trauma film paradigm meets definitions of minimal-risk research. *Ethics & Behavior*, *33*(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/10508422.2021.1997603>
- Stout, D. M., Bomyea, J., Risbrough, V. B., & Simmons, A. N. (2020). Aversive distractors modulate affective working memory in frontoparietal regions. *Emotion*, *20*(2), 286-295. <https://doi.org/10.1037/emo0000544>
- Stramaccia, D. F., Meyer, A.-K., Rischer, K. M., Fawcett, J. M., & Benoit, R. G. (2021). Memory suppression and its deficiency in psychological disorders: A focused meta-analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *150*(5), 828-850. <https://doi.org/10.1037/xge0000971>
- Streb, M., Mecklinger, A., Anderson, M. C., Lass-Hennemann, J., & Michael, T. (2016). Memory control ability modulates intrusive memories after analogue trauma. *Journal of Affective Disorders*, *192*, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2015.12.032>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643-662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Süß, H.-M., Oberauer, K., Wittmann, W. W., Wilhelm, O., & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability--and a little bit more. *Intelligence*, *30*(3), 261-288. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(01\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00100-3)
- Sündermann, O., Hauschildt, M., & Ehlers, A. (2013). Perceptual processing during trauma, priming and the development of intrusive memories. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *44*(2), 213-220. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2012.10.001>
- Susanty, E., Sijbrandij, M., van Dijk, W., Srisayekti, W., de Vries, R., & Huizink, A. C. (2022). The effects of psychological interventions on neurocognitive functioning in posttraumatic stress disorder: A systematic review. *European Journal of Psychotraumatology*, *13*(1). <https://doi.org/10.1080/20008198.2022.2071527>

- Takarangi, M. K., Strange, D., & Lindsay, D. S. (2014). Self-report may underestimate trauma intrusions. *Consciousness and Cognition*, *27*, 297-305. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2014.06.002>
- Taylor, M. J. (2002). Non-spatial attentional effects on P1. *Clinical Neurophysiology*, *113*(12), 1903-1908. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00309-7](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00309-7)
- Tortella-Feliu, M., Fullana, M. A., Pérez-Vigil, A., Torres, X., Chamorro, J., Littarelli, S. A., Solanes, A., Ramella-Cravaro, V., Vilar, A., González-Parra, J. A., Andero, R., Reichenberg, A., Mataix-Cols, D., Vieta, E., Fusar-Poli, P., Ioannidis, J. P. A., Stein, M. B., Radua, J., & Fernández de la Cruz, L. (2019). Risk factors for posttraumatic stress disorder: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *107*, 154-165. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.09.013>
- Tulving, E. (1993). What is episodic memory?. *Current Directions in Psychological Science*, *2*(3), 67-70. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10770899>
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review of Psychology*, *53*(1), 1-25. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135114>
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, *114*(1), 104-132. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.1.104>
- Veerapa, E., Grandgenevre, P., Vaiva, G., Duhem, S., El Fayoumi, M., Vinnac, B., Szaffarczyk, S., Wathelet, M., Fovet, T., & D'Hondt, F. (2023). Attentional bias toward negative stimuli in PTSD: An eye-tracking study. *Psychological Medicine*, *53*(12), 5809-5817. <https://doi.org/10.1017/S0033291722003063>
- Veltmeyer, M. D., Clark, C. R., McFarlane, A. C., Moores, K. A., Bryant, R. A., & Gordon, E. (2009). Working memory function in post-traumatic stress disorder: An event-related potential study. *Clinical Neurophysiology*, *120*(6), 1096-1106. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.03.024>
- Verwoerd, J., de Jong, P. J., & Wessel, I. (2008). Low attentional control and the development of intrusive memories following a laboratory stressor. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, *30*(4), 291-297. <https://doi.org/10.1007/s10862-008-9080-6>
- Verwoerd, J., Wessel, I., & de Jong, P. J. (2012). Fewer intrusions after an attentional bias modification training for perceptual reminders of analogue trauma. *Cognition and Emotion*, *26*(1), 153-165. <https://doi.org/10.1080/02699931.2011.563521>

- Verwoerd, J., Wessel, I., de Jong, P. J., & Nieuwenhuis, M. M. (2009). Preferential processing of visual trauma-film reminders predicts subsequent intrusive memories. *Cognition and Emotion*, *23*(8), 1537-1551. <https://doi.org/10.1080/02699930802457952>
- Vogel, E. K., McCullough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, *438*(7067), 500-503. <https://doi.org/10.1038/nature04171>
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2001). Effects of attention and emotion on face processing in the human brain: an event-related fMRI study. *Neuron*, *30*(3), 829-841. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(01\)00328-2](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(01)00328-2)
- Wagenaar-Tison, A., Deldar, Z., Northon, S., Brisson, B., Blanchette, I., & Piché, M. (2022). Disruption of working memory and contralateral delay activity by nociceptive stimuli is modulated by task demands. *Pain*, *163*(7), 1335-1345. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002517>
- Wald, I., Fruchter, E., Ginat, K., Stolin, E., Dagan, D., Bliese, P. D., Quartana, P. J., Sipos, M. L., Pine, D. S., & Bar-Haim, Y. (2016). Selective prevention of combat-related post-traumatic stress disorder using attention bias modification training: A randomized controlled trial. *Psychological Medicine*, *46*(12), 2627-2636. <https://doi.org/10.1017/S0033291716000945>
- Watkins, L. E., Sprang, K. R., & Rothbaum, B. O. (2018). Treating PTSD: A review of evidence-based psychotherapy interventions. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *12*. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00258>
- Watter, S., Geffen, G. M., & Geffen, L. B. (2001). The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention. *Psychophysiology*, *38*(6), 998-1003. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3860998>
- Wax, J. (2021). Representational and embodied accounts of abstract concepts: A framework for prelinguistic acquisition of numerical cognition. In *AICS* (pp. 224-235).
- Weber, D. L., Clark, C. R., McFarlane, A. C., Moores, K. A., Morris, P., & Egan, G. F. (2005). Abnormal frontal and parietal activity during working memory updating in post-traumatic stress disorder. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, *140*(1), 27-44. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2005.07.003>

- Wechsler, D. (2008). *Canadian Manual for the Wechsler adult intelligence scale* (4th ed.).
- Wegner, D. M. (1994). Ironic processes of mental control. *Psychological Review*, *101*(1), 34-52. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.1.34>
- Wegner, D. M. (1997). When the antidote is the poison: Ironic mental control processes. *Psychological Science*, *8*(3), 148-150. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1997.tb00399.x>
- Wegner, D. M., Schneider, D. J., Carter, S. R., & White, T. L. (1987). Paradoxical effects of thought suppression. *Journal of Personality and Social Psychology*, *53*(1), 5-13. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.53.1.5>
- Wessel, I., Krans, J., Albers, C. J., Chauhan, N., Ferreira de Sá, D. S., Hauck, A., Jaswetz, L., Michael, T., Nixon, R. D. V., Pearson, D. G., Slattery, I., Smeets, T., Takarangi, M. K. T., Willems, T. R. A., & van Schie, K. (2025). Evidence that tetris reduces immediate but not subsequent daily intrusions of a trauma film: A multilab replication study. *Collabra: Psychology*, *11*(1), Article 130791. <https://doi.org/10.1525/collabra.130791>
- Wessel, I., Overwijk, S., Verwoerd, J., & de Vrieze, N. (2008). Pre-stressor cognitive control is related to intrusive cognition of a stressful film. *Behaviour Research and Therapy*, *46*(4), 496-513. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2008.01.016>
- Whalley, M. G., Kroes, M. C. W., Huntley, Z., Rugg, M. D., Davis, S. W., & Brewin, C. R. (2013). An fMRI investigation of posttraumatic flashbacks. *Brain and Cognition*, *81*(1), 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.10.002>
- Williams, J. M. G., Mathews, A., & MacLeod, C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, *120*(1), 3-24. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.120.1.3>
- Wilson-Mendenhall, C. D., Simmons, W. K., Martin, A., & Barsalou, L. W. (2013). Contextual processing of abstract concepts reveals neural representations of nonlinguistic semantic content. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *25*(6), 920-935. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00361
- Wimber, M., Maaß, A., Staudigl, T., Richardson-Klavehn, A., & Hanslmayr, S. (2012). Rapid memory reactivation revealed by oscillatory entrainment. *Current Biology*, *22*(16), 1482-1486. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.05.054>

- Woon, F. L., Farrer, T. J., Braman, C. R., Mabey, J. K., & Hedges, D. W. (2017). A meta-analysis of the relationship between symptom severity of Posttraumatic Stress Disorder and executive function. *Cognitive Neuropsychiatry*, 22(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/13546805.2016.1255603>
- Wrocklage, K. M., Schweinsburg, B. C., Krystal, J. H., Trejo, M., Roy, A., Weisser, V., Moore, T. M., Southwick, S. M., & Scott, J. C. (2016). Neuropsychological functioning in veterans with posttraumatic stress disorder: Associations with performance validity, comorbidities, and functional outcomes. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 22(4), 399-411. <https://doi.org/10.1017/S1355617716000059>
- Yehuda, R., & LeDoux, J. (2007). Response variation following trauma: A translational neuroscience approach to understanding PTSD. *Neuron*, 56(1), 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.09.006>
- Zhang, F., Huang, C., Yan, W., Ouyang, H., & Liu, W. (2024). Attentional bias modification and attention control training in PTSD: a systematic review and meta-analysis. *Therapeutic Advances in Psychopharmacology*, 14. <https://doi.org/10.1177/20451253241243260>
- Zhang, Y., Luo, Y., Diao, S.Y., & Li, H. (2015). The acute stress interference effect on working memory depends on load: Electrophysiological evidences. *Journal of Psychological Science*, 38(1), 42-7.