



**HAL**  
open science

# Apports du protocole JeREV dans la régulation émotionnelle des enfants de 6 à 12 ans victimes d'épisode de stress post-traumatique

Méryl Brasset

► **To cite this version:**

Méryl Brasset. Apports du protocole JeREV dans la régulation émotionnelle des enfants de 6 à 12 ans victimes d'épisode de stress post-traumatique. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02173710

**HAL Id: dumas-02173710**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02173710>**

Submitted on 4 Jul 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MÉMOIRE DE RECHERCHE présenté pour l'obtention du  
**CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE**  
**ET DU GRADE DE MASTER 2 D'ORTHOPHONIE**

Présenté et soutenu le 14/06/2019 par Méryl BRASSET

**Née le 19/12/1994**

**APPORTS DU PROTOCOLE JEREV DANS LA**  
**REGULATION EMOTIONNELLE DES ENFANTS**  
**DE 6 A 12 ANS VICTIMES D'EPISODE DE STRESS**  
**POST-TRAUMATIQUE**

Directeur de Mémoire : Mr Philippe ROBERT

Co-directeur(s) de Mémoire : Mme Auriane GROS

Nice

**2019**

# Abréviations

BD : Bande Dessinée

CAC : Cortex Cingulaire Antérieur

CIM : Classification Internationale des Maladies

CMRR : Centre Mémoire de Ressources et de Recherche

CoBTek : Cognition - Behaviour - Technology

CUMP : Cellules d'Urgence Médico-Psychologique

DSM : Manuel Diagnostique et Statistique des troubles mentaux

EEG : Electroencéphalogramme

EMDR : Eye Movement Desensitization and Reprocessing

ESPT : Épisode de Stress Post-Traumatique

HAS : Haute Autorité de Santé

JeREV : Jeu - Relax - Entretien Vidéo

RED : Réaction Électrodermale

SAM : Self Assessment Manikin (Bradley & Lang, 1994)

SPT : Stress Post-Traumatique

TCC : Thérapies Cognitivo-Comportementales

T1 : début de la séance ou de l'immersion

T2 : fin de la séance ou de l'immersion

VRET : Thérapie d'Exposition par Réalité Virtuelle

V1 : première visite au sein du protocole

V3 : troisième visite au sein du protocole

# SOMMAIRE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction</b>   | <b>1</b>  |
| <b>Partie théorique</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1 L'épisode de stress post-traumatique (ESPT)</b>                    | <b>2</b>  |
| <b>1.1 Définition</b>   | <b>2</b>  |
| 1.1.1 Symptômes   | 2         |
| 1.1.2 Troubles comorbides et évolution                                  | 3         |
| 1.1.3 Autres outils d'évaluation  | 3         |
| <b>1.2 Prise en charge</b>  | <b>5</b>  |
| 1.2.1 Approches classiques  | 5         |
| 1.2.2 Thérapie d'exposition par réalité virtuelle (VRET)                | 7         |
| <b>2 Répercussions de l'ESPT sur le sujet</b>                           | <b>9</b>  |
| <b>2.1 Répercussions au niveau cérébral</b>                             | <b>9</b>  |
| 2.1.1 Neuro-anatomie et neurophysiologie de l'ESPT chez le sujet adulte | 9         |
| 2.1.2 Spécificités de l'ESPT chez l'enfant                              | 10        |
| 2.1.3 ESPT et électroencéphalogramme (EEG)                              | 11        |
| <b>2.2 Répercussions sur la cognition</b>                               | <b>12</b> |
| 2.2.1 Impacts sur les émotions et la mémoire                            | 12        |
| 2.2.2 Impact sur la prise de décision                                   | 14        |
| <b>Partie pratique</b>  | <b>16</b> |
| <b>1 Problématique et objectifs</b>                                     | <b>16</b> |
| <b>2 Matériel et méthodes</b>   | <b>16</b> |
| 2.1 Sujets  | 16        |
| 2.2 Matériel  | 17        |
| 2.3 Méthode   | 19        |
| <b>3 Résultats</b>  | <b>22</b> |
| <b>Discussion</b>   | <b>31</b> |
| <b>Conclusions générales</b>  | <b>35</b> |
| <b>Perspectives</b>   | <b>36</b> |
| <b>Bibliographie</b>  | <b>38</b> |

# INTRODUCTION

L'attentat du 14 juillet 2016 à Nice a exposé de nombreuses personnes à l'horreur des attaques terroristes. Parmi les victimes et témoins se trouvaient beaucoup d'enfants. La prise en charge de ces derniers s'est alors imposée comme une urgence. Dans un premier temps, une évaluation des répercussions psychologiques et neurobiologiques du traumatisme a été proposée, le but étant d'identifier les sujets atteints de stress post-traumatique. Une fois le diagnostic posé, la prise en charge issue du protocole JeREV (Jeux Relax Entretien Vidéo) combinant un entretien pédopsychiatrique, le recrutement de l'imagination et des émotions positives ainsi qu'une immersion virtuelle dans un espace sensoriel a pu être proposée. Ce protocole s'adresse aux enfants âgés de 6 à 12 ans.

Au sein de la partie théorique, l'état de stress post-traumatique sera abordé dans un premier temps. Une définition de celui-ci sera donnée à travers l'étude des différents symptômes et troubles comorbides observables. Les différentes évolutions possibles de cet état ainsi que les principaux outils d'évaluation seront également envisagés. Enfin, la prise en charge classiquement proposée sera confrontée à une approche plus novatrice, intégrant la réalité virtuelle.

Dans un second temps, nous nous intéresserons aux répercussions du stress post-traumatique sur le sujet. Les conséquences cérébrales seront tout d'abord exposées par le biais de l'exploration de la neuro-anatomie et de la neurophysiologie du stress post-traumatique chez l'adulte puis l'enfant ainsi que des apports de l'électroencéphalographie dans cette pathologie. Les répercussions sur la cognition seront ensuite étudiées à travers l'impact de ce stress sur les émotions, la mémoire et la prise de décision.

Au sein de la partie pratique, nous formulons l'hypothèse que l'immersion dans un environnement virtuel proposée par JeREV conduit à une régulation émotionnelle et à une réduction de l'asymétrie de l'activation préfrontale gauche et droite, chez les sujets atteints de stress post-traumatique. L'électroencéphalographie (EEG) nous permettra une mesure quantitative de ces éléments. La seconde hypothèse que nous formulons est que l'augmentation de l'activation cérébrale va de pair avec l'augmentation de la qualité de vie et avec la capacité de création d'un scénario positif. Ces différents aspects seront respectivement mesurés par l'EEG, une échelle d'auto-évaluation de la qualité de vie et une grille de cotation de bande dessinée établie par le clinicien.

# PARTIE THEORIQUE

## 1 L'épisode de stress post-traumatique (ESPT)

### 1.1 Définition

La prévalence de l'ESPT est difficilement quantifiable. Bien que celui-ci varie selon le type de traumatisme et le sexe, le taux global d'enfants et d'adolescents victimes d'un événement traumatisant développant un stress post-traumatique (SPT) est estimé à 15,9%. Les sujets les plus atteints sont les filles exposées à un traumatisme interpersonnel, tel qu'une agression ou une guerre (Alisic et al., 2014).

### 1.2 Symptômes

D'après le Manuel Diagnostique et Statistique des troubles Mentaux (DSM-5) (American Psychiatric Association, 2013), chez un sujet âgé de plus de 6 ans, un SPT apparaît si l'individu est confronté à la mort ou à une menace de mort, à une blessure grave ou à des violences sexuelles (critère A). Cela peut se produire selon différentes modalités : par une exposition directe, en étant témoin direct, si la victime est un membre de la famille ou un ami proche ou encore si l'exposition à des détails horribles d'un événement traumatisant est répétée. L'apparition d'un ou plusieurs symptômes d'intrusion après l'(es) événement(s) traumatisant(s) (souvenirs répétitifs, rêves récurrents, réactions dissociatives, détresse psychique, réactions physiologiques) en présence d'indices évoquant l'événement constitue un autre critère de diagnostic (critère B). L'évitement de stimuli associés à l'événement traumatique (critère C), l'altération des cognitions et de l'humeur (critère D), la modification de l'état d'éveil et la réactivité (critère E) sont autant de conséquences caractéristiques du SPT. La perturbation doit durer plus d'un mois (critère F), entraîner une souffrance cliniquement significative ou des répercussions sociales et/ou professionnelles (critère G) et ne pas être attribuable aux effets physiologiques d'une substance ou d'une autre affection (critère H).

La dixième édition de la Classification Internationale des Maladies (CIM-10) classe l'ESPT dans le chapitre des troubles mentaux et du comportement. Dans cette classification, le SPT est une réaction différée ou prolongée à un facteur de stress sévère qui est la composante causale primaire et essentielle à l'apparition du trouble. L'événement stressant peut être de durée courte ou longue, exceptionnellement menaçant ou catastrophique et provoque une détresse. Les symptômes sont les suivants : reviviscence répétée de l'événement, souvenirs envahissants, rêves, cauchemars.

### 1.2.1 Troubles comorbides et évolution

D'après la CIM-10, les symptômes préalablement cités s'accompagnent habituellement d'un hyperéveil neuro-végétatif, avec hypervigilance, état de qui-vive et insomnie. À ceux-là peuvent s'associer une anxiété, une dépression ou une idéation suicidaire. Il peut s'écouler quelques semaines voire quelques mois entre l'apparition du traumatisme et le développement du trouble. Le DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013) évoque d'ailleurs une éventuelle « manifestation différée », dans le cas où tous les critères de diagnostic seraient présent six mois après l'événement.

Des symptômes dissociatifs peuvent s'ajouter au trouble décrit ci-dessus. Il s'agit de dépersonnalisation et de déréalisation, qui correspondent respectivement à l'impression de se sentir détaché de soi-même (observer de l'extérieur ses processus mentaux ou son corps, comme dans un rêve) et le sentiment que l'environnement n'est pas réel. Il est à noter que, pour être considérés, ces symptômes dissociatifs ne doivent pas être imputables à une autre atteinte ou à l'utilisation d'une substance.

Concernant l'évolution d'un ESPT, la guérison est la plus fréquente. En effet, dans la plupart des cas, la prévalence du SPT diminue au fil du temps (Neria, Nandi, & Galea, 2008). Cependant, une évolution chronique est possible, la persistance du trouble durant plusieurs années entraînant une modification de la personnalité du sujet (CIM-10).

L'évolution des troubles psychotraumatiques est variable. Pour le DSM IV, un ESPT est aigu si sa durée d'évolution est comprise entre 1 et 3 mois. Il est de survenue différée si le début des symptômes apparaît au moins 6 mois après le facteur de stress.

Au-delà de 3 mois, l'ESPT devient chronique, le plus souvent par défaut de prises en charge adaptées. Une « névrose traumatique » est alors développée (CIM-10).

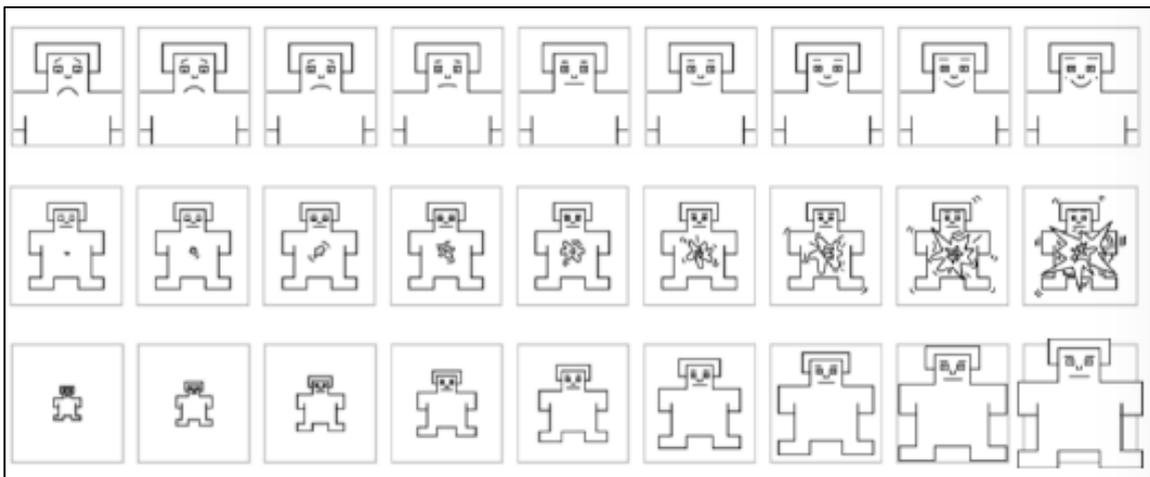
Certains ESPT, qualifiés de transitoires, sont la résultante de réactions adaptatives de la part du sujet. Dans ce cas, les soins spécialisés ne sont pas nécessaires.

### 1.2.2 Autres outils d'évaluation

L'examen clinique d'un sujet souffrant d'ESPT met souvent en lumière un émoussement affectif. Par conséquent, la mesure du ressenti émotionnel du sujet est une composante à intégrer lors de l'évaluation.

La Self Assessment Manikin (SAM) (figure 1) (Bradley & Lang, 1994) est une méthode d'évaluation picturale non verbale, qui, à l'aide d'un mannequin d'auto-évaluation, mesure directement la valence/le plaisir (figure 1, 1<sup>ère</sup> ligne), l'intensité/activation/éveil (figure 1, 2<sup>ème</sup> ligne) et la dominance, c'est-à-dire le contrôle (une grande figure correspondant à un contrôle maximal) (figure 1, 3<sup>ème</sup> ligne) à la suite de la présentation de stimuli divers.

Figure 1. Mannequin d'auto-évaluation (SAM) permettant d'évaluer le plaisir, l'éveil et la dominance (Bradley & Lang, 1994).



Cet outil permet l'évaluation rapide des réponses affectives apportées par le sujet dans de nombreux contextes, notamment en réaction à des images (Greenwald, Cook et Lang, 1989 ; Lang, Greenwald, Bradley & Hamm, 1993). Les trois variables mesurées sont justifiées par le fait qu'elles sont prédominantes dans l'organisation des jugements humains, et ce pour de très nombreux stimuli. Cette échelle d'auto-évaluation est tout à fait adaptée aux enfants (Greenbaum, Turner, Cook & Melamed, 1990). Cependant, elle présente des limites dans la mesure où elle est auto-administrée et donc potentiellement source de réponses biaisées, le patient pouvant craindre le jugement et produire des réponses socialement souhaitables (biais de désirabilité sociale).

L'ESPT (Pacella, Hruska, & Delahanty, 2013) ainsi que ses nombreux troubles comorbides associés (Araújo et al., 2014) ont une répercussion négative sur la qualité de vie. La mesure de cette dernière apparaît alors comme indispensable afin de compléter le diagnostic.

Le KidIQoL (Gayral-Taminh et al., 2005) permet une auto-évaluation de la qualité de vie des enfants de 6 à 12 ans. Les dimensions physique, psychologique et sociale sont envisagées à travers des situations de vie. Cet outil informatisé d'une durée de passation d'environ 20 minutes est tout à fait

adapté aux enfants présentant des troubles psychologiques. Il permet d'identifier les domaines de vie les plus atteints par d'éventuels troubles, notamment le SPT, et d'objectiver les effets des prises en charge sur la qualité de vie.

L'ESPT est un trouble qui apparaît à la suite d'un événement traumatisant et se caractérise par des modifications physiologiques et des conduites spécifiques, telle que l'évitement. Des troubles associés comme la dépression et l'anxiété peuvent également apparaître. La mesure du ressenti émotionnel et de la qualité de vie sont indispensables à la quantification des répercussions de l'ESPT. Une fois l'évaluation menée, une prise en charge adaptée peut être proposée, dans le but de réduire les troubles.

### 1.3 Prise en charge

Le *defusing*, mis en place par les cellules d'urgence médico-psychologique (CUMP), est la prise en charge immédiate qui survient à la suite d'un événement traumatisant collectif, tel qu'un attentat. Elle permet à la fois de fournir un environnement sûr, d'échanger des informations et de contenir la détresse des victimes (Chauvelin et al., 2018). Bien que le taux de satisfaction du *defusing* soit élevé (Prieto et al., 2018), une prise en charge spécialisée ultérieure est nécessaire.

Un *debriefing* psychologique intervient ensuite. Il s'agit d'un soin post-immédiat qui permet d'évaluer et d'atténuer la détresse aiguë ainsi que d'établir des liens avec la suite des soins (Mitchell & Everly, 1997).

#### 1.3.1 Approches classiques

Bien que non systématique (Mansdorf, 2008), une psychothérapie peut être proposée aux victimes à la suite d'un événement traumatique. Il s'agit d'une thérapie de soin par la parole dans laquelle le sujet est invité à exprimer ses émotions, ses pensées lors de la catastrophe. Le but est alors de mettre en mot le trauma afin de l'intégrer à la réalité. D'après les recommandations de 2007 de la Haute Autorité de Santé (HAS), 12 à 25 séances chez l'enfant peuvent être effectuées (contre 15 à 20 chez l'adulte), sous forme d'entretien individuel, à raison d'une à deux fois par semaine. La psychothérapie peut s'avérer efficace pour l'évolution positive de certaines victimes mais elle n'est pas suffisante, un suivi à long terme est indispensable.

Les thérapies cognitivo-comportementales (TCC) sont centrées sur le traumatisme. En effet, elles ont pour objectif d'établir un lien entre l'anxiété et ce qui en est la cause (souvent sujette à de

l'évitement) afin de réduire ce sentiment. Pour cela, différentes techniques telles que l'exposition, la structuration cognitive, la relaxation (également exploitable en combinaison avec d'autres thérapies) (Pfefferbaum et al, 2014) ou encore la psychoéducation sont utilisées. Bien que le nombre de séances n'aie pas été clairement déterminé (Cohen, 2003), la durée de cette thérapie est d'environ 10 à 25 séances.

D'après Bisson et Andrew (2005), la TCC axée sur les traumatismes présente, à l'heure actuelle, l'efficacité la plus importante en comparaison à d'autres thérapies psychologiques. De plus, cette thérapie a été validée auprès d'enfants et d'adolescents présentant des symptômes d'anxiété ou des problèmes d'humeur en lien avec le traumatisme (Pine & Cohen, 2002).

Dans le cas où le traitement psychothérapeutique se révèle sans amélioration, si les symptômes restent trop envahissants ou si une dépression s'associe à l'ESPT, un traitement médicamenteux peut être prescrit. La paroxétine est la seule molécule bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché. En cas d'échec de celle-ci, d'autres inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine (tels que la fluoxétine, fluvoxamine, sertraline) ou bien des antidépresseurs tricycliques (amitriptyline, imipramine) peuvent être utilisés.

D'après les recommandations de la HAS parues en 2007, l'association thérapie cognitivo-comportementale et traitement pharmacologique peut mener à une efficacité supérieure à celle de chaque traitement isolé.

Contre-indiqué en cas de maladie psychotique, l'EMDR (Eye Movement Desensitization and Reprocessing) (Watts et al., 2013) est une thérapie possible dans le cadre d'un SPT. Cette technique de désensibilisation émotionnelle consiste en une poursuite oculaire des mouvements bilatéraux des doigts du thérapeute, concomitante au rappel mental de l'événement traumatique. Grâce à cette méthode, une diminution significative des symptômes de stress post-traumatique a été observée. L'efficacité de l'EMDR a été prouvée par de nombreuses études (Watts & Lacerte, 2011), cette technique faisant notamment partie des recommandations de 2013 de l'Organisation Mondiale de la santé et de la HAS en 2007 pour le traitement de l'ESPT.

### 1.3.2 Thérapie d'exposition par réalité virtuelle (VRET)

La thérapie d'exposition par réalité virtuelle est une technique qui s'inspire de la thérapie d'exposition traditionnelle et qui peut être indiquée dans le traitement de l'ESPT. Le patient est placé dans un environnement virtuel, généré informatiquement et sécurisé qui présente des stimuli visuels, auditifs, tactiles et/ou proprioceptifs pertinents pour la peur (Motraghi, Seim, Meyer & Morissette, 2014). L'exposition à ceux-ci est progressive et le patient est confronté à des indices similaires à ceux causant l'anxiété (par la mise en action de la mémoire traumatique), ce sentiment étant réduit à mesure des expositions (Kamkuimo Kengne, Fossaert, Girard & Menelas, 2018) car relié à de nouvelles associations. Grâce aux situations fictives, sûres et contrôlables permises par la VRET (Botella, Serrano, Baños, & Garcia-Palacios, 2015), le patient distinguera mieux les stimuli menaçants de ceux qui ne le sont pas, les stratégies d'évitement seront moins utilisées et les éventuels symptômes caractéristiques du trouble seront amoindris (Motraghi, Seim, Meyer & Morissette, 2014).

Les avantages de cette technique sont l'hyperréalisme des stimuli, le gain de temps (du fait de la diminution des déplacements en différents lieux), ainsi que la possible reproductibilité d'événements complexes (tels que des accidents de la route) (Kamkuimo Kengne, Fossaert, Girard & Menelas, 2018). De plus, durant l'exposition aux stimuli sensoriels, le patient est engagé émotionnellement et ne peut avoir recours à des techniques d'évitement, grâce à l'environnement virtuel. L'exposition progressive à celui-ci peut être adaptable en fonction des besoins de chacun, le thérapeute pouvant en maîtriser la durée, le type et l'intensité. Cette maîtrise permet également une rigueur méthodologique dans les études cliniques (Gonçalves, Pedrozo, Coutinho, Figueira, & Ventura, 2012)

La VRET peut constituer une alternative intéressante pour les patients ayant une faible capacité à imaginer. En effet, grâce aux différents stimuli qu'elle fournit, cette technique facilite l'immersion dans l'environnement proposé et élimine ainsi le besoin de compétences imaginaires intenses (Botella, Serrano, Baños, & Garcia-Palacios, 2015).

De même, elle peut être utile pour des patients résistants à une exposition traditionnelle. En effet, l'engagement du sujet étant supérieure du fait de l'environnement virtuel, la mémoire traumatique est activée de manière plus intense et la peur conditionnée subit une extinction plus forte (Gonçalves, Pedrozo, Coutinho, Figueira, & Ventura, 2012).

Dans le cadre de troubles anxieux, il a été montré que la VRET était plus facilement acceptée par les patients que d'autres formes d'exposition, telles que les expositions in vivo ou imaginaires (Botella, Serrano, Baños, & Garcia-Palacios, 2015).

Concernant les inconvénients de la VRET, la question de la relation thérapeutique entre le soignant et le patient peut se poser, du fait que celui-ci soit immergé seul dans un environnement généré par ordinateur. Malgré tout, l'implication du thérapeute est très importante. Son rôle réside, entre autres, dans la personnalisation de l'exposition en fonction du traumatisme vécu par le patient (Gonçalves, Pedrozo, Coutinho, Figueira, & Ventura, 2012). Chaque environnement généré par ordinateur est spécifique et doit se référer à l'événement traumatique vécu. Cela requiert un certain coût et un développement technologique qui engendre investissement économique conséquent (Botella, Serrano, Baños, & Garcia-Palacios, 2015).

En termes d'efficacité, la revue de la littérature indique que la VRET est une solution alternative qui apparaît comme efficace et prometteuse dans le cadre du traitement de l'ESPT et plus globalement des troubles anxieux. Son efficacité est identique voire supérieure aux traitements traditionnels tels que l'exposition imaginaire, l'exposition in vivo et la TCC (Botella, Serrano, Baños, & Garcia-Palacios, 2015). Cela peut s'expliquer par le fait que les environnements immersifs confèrent au patient un fort sentiment de présence grâce au réalisme des stimuli et aux scènes en 3 dimensions (Tarrant, Viczko, & Cope, 2018).

La VRET est un outil qui semble donc précieux mais qui présente cependant certaines limites. Plusieurs méta-analyses ont mis en évidence de nombreuses différences méthodologiques entre les études traitant de la VRET. La standardisation du traitement apparaît alors comme nécessaire. Pour cela, une randomisation, une évaluation à l'aveugle et une surveillance de l'observance du traitement pourraient être souhaitables. De plus, les échantillons utilisés pour mener les expérimentations sont souvent faibles. Cela rend les comparaisons, et de fait les conclusions, difficiles. La correction de ces limites aura pour conséquence une meilleure interprétation et une consolidation de la littérature ainsi que la confirmation des résultats positifs suggérés par la VRET (Motraghi, Seim, Meyer & Morissette, 2014). Pour finir, la littérature manque d'études concernant l'utilisation de la VRET dans des populations jeunes. À ce jour, seule une étude de cas aborde le sujet du traitement de l'ESPT grâce à une exposition par réalité virtuelle chez les enfants (Botella, Serrano, Baños, & Garcia-Palacios, 2015).

L'ESPT est un trouble qui touche plus de 15% des sujets jeunes victimes ou témoins d'un événement mettant en péril leur intégrité physique et/ou psychique ou celle de tiers. Anxiété et dépression y sont fréquemment associées. Bien que la guérison soit une évolution fréquente de ce trouble, il est possible que celui-ci se pérennise, nous parlons ainsi de forme chronique.

Outre le DSM 5 et la CIM 10 qui définissent le trouble, d'autres outils sont à disposition du thérapeute afin d'évaluer ses répercussions de celui-ci sur le sujet. En effet, le ressenti émotionnel peut être appréhendé par la SAM, échelle d'auto-évaluation tout à fait adaptée à une population pédiatrique, et la qualité de vie par la KidIQol.

La prise en charge de l'ESPT peut être envisagée sous différents angles. Dans le cas d'un attentat, les témoins et victimes peuvent être orientés vers des cellules d'urgence médico-psychologique dans lequel un *defusing* et un *debriefing* seront réalisés. En termes de prise en charge au long terme, une psychothérapie est classiquement proposée. D'autres moyens, tels que les thérapies cognitivo-comportementales, centrées sur le traumatisme, ont fait leurs preuves en clinique. La médication, l'Eye Movement Desensitization et la thérapie d'exposition par réalité virtuelle sont des alternatives possibles de prises en charge dans le cadre d'un ESPT.

La description, les méthodes d'évaluation ainsi que le traitement de ce trouble nous conduisent ainsi à en étudier les répercussions sur l'individu.

## 2 Répercussions de l'ESPT sur le sujet

### 2.1 Répercussions au niveau cérébral

#### 2.1.1 Neuro-anatomie et neurophysiologie de l'ESPT chez le sujet adulte

La neuro-imagerie nous permet de savoir que le stress est un état qui implique diverses zones du cerveau, organisées en réseau. Au centre de celui-ci se trouve le système limbique, véritable cerveau émotionnel, composé de l'amygdale et de l'hippocampe. Ce système est en lien avec les zones de détection sensorielle (cortex primaire et thalamus) et corporelle (insula) en amont, et avec les zones d'intégration (cortex frontal et cingulaire) en aval.

L'amygdale a pour rôle de détecter les indices pouvant être menaçants pour l'organisme et participe à l'expression des émotions (Canini, Trousselard & Andruetan, 2009). Cette structure est également impliquée dans la mémoire émotionnelle et la régulation attentionnelle. Dans le cadre d'un ESPT, l'amygdale est peu voire non altérée anatomiquement mais réagit excessivement en présence d'indices rattachés au trauma ou plus globalement en présence de stimuli négatifs (Dégeilh et al., 2013).

L'hippocampe joue un rôle important dans le processus de mémoire épisodique, cette structure permet la mémorisation du contexte dans lequel le stress s'inscrit. Les mesures effectuées grâce à l'imagerie par résonance magnétique ont révélé que plus l'intensité du stress est importante, plus cette structure subit une diminution bilatérale de son volume (Dégeilh et al., 2013 ; Gurvits et al., 1996). De telles modifications ont pour conséquence un déficit de mémoire épisodique, une fragmentation et une décontextualisation du souvenir ainsi qu'une sur-généralisation des souvenirs.

Le système perceptif est chargé de recevoir les stimuli. Lors de la confrontation à un événement traumatique, ce système est complètement réorganisé. En effet, les stimuli sont détectés plus rapidement afin d'obtenir une réponse rapide de l'amygdale, mais au détriment d'une analyse cognitive thalamique fine.

Le cortex préfrontal médian est lui aussi affecté lors d'un ESPT (Shin et al., 2006). Son volume et son activité fonctionnelle en présence d'indices liés au trauma sont réduits. Au sein même du cortex frontal se trouve l'aire cérébrale cingulaire, aussi appelée cortex cingulaire antérieur (CAC), dont le volume est également réduit lors d'un ESPT. Alors que sa partie dorsale, impliquée dans la détection des conflits, est hyperactivée, sa partie ventrale, impliquée dans la résolution des conflits, est hypoactivée.

Le cortex préfrontal médian et le CAC jouent un rôle dans la modulation attentionnelle, la régulation émotionnelle, le sentiment d'identité et la représentation de soi. Les modifications anatomique et fonctionnelle de ces structures induites par l'ESPT engendrent des perturbations de ces processus cognitifs. En effet, il a été montré que les sujets atteints d'ESPT présentaient des hypoactivations importantes, en comparaison à une population saine, dans le cortex préfrontal médian, le CAC et le thalamus, qui sont des régions précisément impliquées dans la régulation émotionnelle (Etkin & Wager, 2007).

### 2.1.2 Spécificités de l'ESPT chez l'enfant

Tout comme chez l'adulte, le syndrome de répétition est central dans le cadre d'un ESPT en population infantile. Cependant, sa forme et son expression sont quelque peu différentes. En effet, l'enfant est moins sujet à des flashbacks mais davantage à des rêves d'angoisses dont le contenu n'est pas en lien avec l'événement traumatique, à des cauchemars dont les thèmes ne sont pas spécifiques. Les jeux pratiqués par des sujets jeunes souffrant d'ESPT sont répétitifs, compulsifs et sans plaisir, l'événement traumatique est remis en acte. D'un point de vue comportemental, des

changements d'attitude ont été observés dans la population jeune. En effet, des sentiments de vulnérabilité, de méfiance et d'insécurité sont parfois éprouvés à l'encontre des adultes protecteurs.

Au même titre que l'adulte, l'enfant souffrant d'un ESPT présente une hyperactivité neurovégétative qui se caractérise par des difficultés d'endormissement, une irritabilité et de la colère (Dégeilh et al., 2013). Des troubles de l'attention et de la concentration peuvent également être objectivés et avoir des répercussions sur la vie sociale et scolaire de l'enfant.

Les comorbidités de l'ESPT chez l'enfant sont nombreuses. Parmi elles on trouve des plaintes somatiques telles que des céphalées ou des douleurs abdominales, la dépression infantile, des manifestations phobiques sévères voire une régression psychoaffective et comportementale.

D'après les études menées en neuro-imagerie, les enfants souffrant d'ESPT ne présentent pas de réduction hippocampique (chez l'adulte, l'implication de facteurs développementaux liés au stress sont à l'origine de l'altération hippocampique). Cependant, certaines études ont montré que le volume intracrânien des enfants souffrant d'ESPT était plus faible que le groupe témoin sain (De Bellis et al., 1999). Il est indispensable de garder à l'esprit qu'à ce jour, aucun profil de dysfonctionnements cérébraux propre à l'enfant n'a été démontré.

### 2.1.3 ESPT et électroencéphalogramme (EEG)

L'utilisation de l'EEG dans le cadre du SPT est encore assez rare (Begić, Hotujac, & Jokić-Begić, 2001), surtout chez l'enfant. Cependant, la littérature scientifique dispose de quelques publications qui nous ont permis de corréler la psychopathologie et les altérations de l'activité cérébrale chez les patients atteints d'ESPT.

En effet, des études EEG menées auprès de patients victimes d'ESPT ont montré une augmentation de la connectivité fonctionnelle dans l'amygdale et l'hippocampe, structures responsables de la régulation émotionnelle. Une telle observation pourrait témoigner d'une prédominance des circuits sensibles à la menace, y compris au repos (Imperator et al., 2014).

De même, il a été mis en évidence que les sujets atteints d'ESPT avaient une meilleure mémoire des stimuli émotionnels que des stimuli neutres, en comparaison avec une population saine (Chemtob et al., 1999 ; Paunovi, Lundh & Öst, 2002). Cela pourrait se traduire par une difficulté à prendre de la distance quant aux informations liées aux menaces (Chemtob et al., 1999).

Une étude réalisée par Sponheim et al. en 2011, portant sur des soldats victimes d'ESPT souffrant d'une lésion cérébrale traumatique légère, a montré que ceux-ci présentaient une connectivité fonctionnelle frontale plus élevée, surtout dans les bandes de fréquences faibles (delta, thêta, alpha, bêta).

Au repos, il a été constaté que les patients atteints d'ESPT présentent une augmentation de la connectivité alpha, correspondant à un éveil relaxé. Imperatori (2014) interprète ainsi de façon spéculative que cela pourrait être le résultat d'une tentative défensive d'inhiber les souvenirs traumatiques intrusifs.

Le même auteur conclut que les observations réalisées en EEG pourraient justifier la psychopathologie de l'ESPT (développée en I.), à savoir : symptômes intrusifs persistants, difficulté de régulation des émotions, fragmentation des mémoires traumatiques et déficits de la mémoire de travail.

Les modifications neuro-anatomiques constatées dans le cadre d'un ESPT ont des conséquences sur la cognition. Cette dernière désigne les processus du traitement de l'information (raisonnement, mémoire, prise de décision et fonctions exécutives) ainsi que la perception, la motricité et les émotions.

## 2.2 Répercussions sur la cognition

### 2.2.1 Impacts sur les émotions et la mémoire

La réduction du volume de l'hippocampe observée lors d'un ESPT n'est pas sans conséquence sur la cognition. En effet, une étude de Bremner et al. (1995) ont montré que des déficits de la mémoire verbale à court terme (mis en évidence grâce à l'échelle de Weschsler) étaient associés à un volume hippocampique droit inférieur chez les patients atteints de SPT seulement (en comparaison à une population témoin).

Parallèlement, lors de mesures EEG menées auprès de patients souffrant d'ESPT, il a été constaté une augmentation de la connectivité alpha (8-12,5 Hz) entre le précuneus et le lobe pariétal inférieur droit (zones corticales explorées par l'électrode Pz-P4). Cela pourrait être mis en relation avec une altération des systèmes de mémoire et de traitement émotionnel, constamment perturbés chez les patients atteints de SPT (Imperatori et al., 2014).

Pratiquement tous les troubles psychiatriques ont pour conséquence, entre autres, des dysfonctionnements au niveau des affects. Dans le cadre de la dépression adulte non médicamenteuse,

ces modifications peuvent être expliquées par une asymétrie du cortex préfrontal entre les hémisphères droit et gauche, ce dernier étant hypoactivé (zone antéro-frontale gauche et temporale gauche) (Davidson & Slagter, 2000). Dans le cadre d'un SPT, une telle asymétrie est également observée, nous pouvons donc supposer que cette pathologie présentera également une altération des affects.

Il a été prouvé que les sujets jeunes exposés à des traumatismes urbains (tels que des attentats) présentaient un manque de connectivité entre les zones préfrontales et l'amygdale, structure responsable de la régulation des réponses émotionnelles. De tels dysfonctionnements pourraient témoigner d'une traduction au niveau biologique de la réactivité au stress dans les premières années de vie et ainsi augmenter chez les sujets jeunes la vulnérabilité à la psychopathologie liée au stress (Thomason et al., 2015).

Il est à noter que ce dysfonctionnement du circuit fronto-amygdalien a également été observé chez des adultes atteints d'ESPT (Brown et al., 2014), chez des adolescents (Roy, Costanzo, Blair & Rizzo, 2014) et dans le cadre d'anxiété généralisée de l'adulte (Etkin, Prater, Schatzberg, Menon & Greicius, 2009).

Comme nous l'avons vu précédemment, l'ESPT est fortement corrélé à des symptômes de dépression et d'anxiété. La mesure de cette dernière par le biais d'un EEG paraît alors pertinente. Il a été constaté que les stress et l'anxiété se manifestait en EEG à la fois par une augmentation de l'activité des ondes rapides (bêta, qui traduisent un état d'attention, de pensée éveillée les yeux ouverts) et une diminution de l'activité des ondes lentes (alpha par exemple, résultant d'un éveil relaxé les yeux fermés) (Tarrant, Viczko & Cope, 2018 ; Olbrich, Jödicke, Sander, Himmerich, & Hegerl, 2011 ; Price & Budzynski, 2009). Au niveau neuro-anatomique, le système limbique et le cortex préfrontal sont les circuits principalement mis en jeu dans l'anxiété. Il paraît ainsi logique d'émettre l'hypothèse que ces régions montreraient des schémas plus calmes dans des situations de relaxation (Tarrant, Viczko & Cope, 2018 ; Sherlin, Muench & Wyckoff, 2010), de même que les activités cérébrales dont il est question ci-dessus pourraient présenter des patterns opposés.

### 2.2.2 Impact sur la prise de décision

Les patients atteints de SPT présentent un contrôle cognitif fortement influencé par des distractions émotionnelles (Cohen et al., 2013). La prise de décision sera alors différente selon l'état émotionnel du sujet et dans le cas où l'item traité présentera une valence émotionnelle.

Les répercussions du SPT sur la prise de décision ont été jusqu'alors peu étudiées. Il s'agit pourtant d'une donnée importante dans la mesure où l'altération de la prise de décision est une caractéristique présente majoritairement dans plusieurs troubles psychiatriques associés au SPT (Ousdal et al., 2018).

Cette caractéristique est régie par de nombreux mécanismes, notamment le système instrumental (Dolan & Dayan, 2013). Ce dernier est chargé de s'assurer que les récompenses sont perçues et les punitions évitées. Ce mécanisme est opéré par le biais d'actions discrètes, contrôlées par une analyse préalable des conséquences de celles-ci, en référence au modèle de Pavlov (Dayan, Niv, Seymour & D. Daw, 2006 ; Dayan & Daw, 2008).

Ousdal (2018) constate qu'à la suite d'un SPT, les décisions instrumentales sont davantage sensibles au contrôle pavlovien du fait d'une atténuation du contrôle préfrontal et d'un renforcement des circuits dépendants de l'amygdale (Arnsten, 2015 ; McEwen et al., 2015). Les sujets présentaient des difficultés pour contrôler voire éteindre les associations craintives. Cela aurait pour conséquence une peur et un évitement persistant (Milad et al., 2009 ; Jovanovic et al., 2010).

Les souvenirs intrusifs font partie intégrante de la symptomatologie du SPT (cf 1.1.1.). Ils peuvent apparaître aussi bien à la suite de stimuli reflétant le traumatisme mais également être généralisés à d'autres situations, non menaçantes *a priori*, alors associées à des souvenirs traumatiques. Caulfield et Myers (2018) ont montré que, lors d'une tâche d'estimation de séparation spatiale entre deux items, le groupe atteint de SPT a montré de meilleures performances que le groupe contrôle lorsque que les discriminations de séparations étaient les plus complexes. Pour cette tâche, les sujets ont accumulé plus rapidement des preuves, ce qui a donné lieu à une prise de décision plus rapide.

Enfin, l'anxiété, lorsqu'elle s'associe au SPT, peut constituer une protection partielle dans la prise de décision. En effet, l'anxiété amène ces sujets à faire des choix plus conservateurs lorsqu'eux ceux-ci pourraient engendrer une perte potentielle à long terme et donc des conséquences négatives (Engelmann, Maciuba, Vaughan, Paulus, & Dunlop, 2013).

Il apparaît alors que la prise de décision est altérée dans plusieurs de ces composantes lors d'un SPT. Elle est, d'une part, fortement influencée par les distractions émotionnelles et, d'autre part,

conditionnée par le système pavlovien. La prise de décision est également plus rapide et conservatrice envers des choix aux conséquences négatives.

L'attentat de Nice du 14 juillet 2016 a provoqué un traumatisme considérable chez les personnes qui en ont été victimes et témoin, créant chez certaines un épisode de stress post-traumatique. La prise en charge de celles-ci est alors apparue comme une priorité.

Comme nous l'avons vu précédemment, le stress post-traumatique est fortement associé à des symptômes d'anxiété (cf 1.1) et a des répercussions indéniables sur l'anatomie et la connectivité cérébrales (cf 2.1.1 et 2.1.3). Cela justifie donc l'utilisation de l'EEG comme technique d'exploration de l'activité cérébrale auprès d'une telle population. Comme l'ont noté Sherlin, Muench et Wyckoff (2010), il paraît logique de supposer que régions du cerveau atteintes par l'anxiété montreraient des schémas plus calmes lors de la relaxation et de la méditation (Tarrant, Viczko & Cope, 2018).

C'est précisément pour cette raison que l'équipe de recherche CoBTeK a mis en place un protocole nommé JeREV, destiné à une population d'enfants atteints d'ESPT des suites de l'attentat de Nice, âgés de 6 à 12 ans (population jusqu'alors peu étudiée dans la littérature scientifique). Il leur a été proposé 3 séances d'immersion dans une réalité virtuelle (dont l'efficacité dans le traitement de l'ESPT a été étudiée en I.) qui nous permettent, grâce à l'EEG, de disposer de 2 types de mesures de l'activité cérébrale : en début et en fin de séance ainsi qu'entre la 1<sup>ère</sup> et la 3<sup>ème</sup> séance.

Parallèlement, nous avons vu que l'ESPT était fortement associé à la dépression, à des souvenirs intrusifs et avait un impact sur les fonctions exécutives et la cognition, notamment la prise de décision (cf 2.2.1). De plus, une difficulté de mise à distance de la menace a été mise en évidence (cf 2.1.3). Le protocole JeREV propose ainsi aux sujets la création informatique d'une bande dessinée par le choix de différents paramètres (tels que le lieu de l'histoire, identification de l'intrigue, résolution...) à 2 ou 3 valences (positive/négative et neutre). Cela nous a permis d'évaluer le ratio d'images positives, neutres, négatives et ainsi dégager des conclusions quant aux capacités de création d'un scénario positif des enfants souffrant d'ESPT.

# PARTIE PRATIQUE

## 1 Problématique et objectifs

Beaucoup de personnes ont été traumatisées par les attentats de Nice du 14 juillet 2016, parmi elles se trouvaient un grand nombre d'enfants, dont certains ont développé un stress post-traumatique. L'évaluation et la prise en charge de ce trouble est alors apparue comme une priorité. C'est précisément pour cela que l'équipe CoBTek (Cognition Behaviour Technology) a créé le protocole JeREV. Comme nous l'avons vu précédemment, le stress post-traumatique a pour conséquence le ressenti d'émotions négatives (angoisse, anxiété, dépression) et une asymétrie d'activité préfrontale (l'hémisphère gauche étant hypoactivé). Notre objectif principal est donc d'évaluer l'impact de l'immersion multisensorielle proposée par JeREV sur les capacités de régulation émotionnelle ainsi que sur l'asymétrie d'activité mentionnée ci-dessus. Cette évaluation sera menée grâce à des mesures en électroencéphalographie. Dans notre partie théorique, nous avons également vu que le SPT avait un impact sur la qualité de vie. Ainsi, notre objectif secondaire est la vérification qu'une augmentation de l'activation cérébrale (mesurée par l'EEG) coïncide avec une augmentation du score en qualité de vie (quantifié par la KidIQoL) et avec une capacité de création de scénario positif de BD (cotée à partir d'une grille élaborée par le clinicien). JeREV est un protocole novateur car il est centré sur le ressenti d'émotions positives, à l'inverse des précédentes études qui évaluaient les émotions négatives, les potentialités d'angoisse, d'anxiété, de dépression et de somatisation.

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Sujets

Cinq enfants (3 garçons et 2 filles) ont participé à cette étude. Les sujets devaient être âgés de 6 à 12 ans et devaient avoir une bonne maîtrise de la langue française. L'inclusion nécessitait la pose d'un diagnostic d'état de stress post-traumatique d'après les critères du DSM-5. Les sujets avaient tous été exposés aux attentats du 14 juillet 2016 à Nice en tant que victime (présence physique sur les lieux de l'attentat), témoin (présence physique sur les lieux de l'attentat) ou ayant un parent (ou un membre de l'entourage proche) victime. Les sujets étaient tous inscrits dans la liste du logiciel ORSAN (organisation de la réponse du système de santé en situations sanitaires exceptionnelles) et

bénéficiaient d'un régime de sécurité sociale. La signature d'un consentement libre et éclairé par les représentants légaux et l'enfant était également nécessaire à l'inclusion dans l'étude.

L'absence de pose d'un diagnostic d'ESPT, la présence d'antécédents de pathologies psychiatriques diagnostiqués avant les attentats ainsi qu'un déficit sensoriel suffisamment important pour gêner le déroulement du protocole constituaient des critères de non-inclusion.

Les sujets étaient exclus en cas de survenue d'un événement indésirable grave, de sortie volontaire du patient (par retrait du consentement éclairé de l'enfant et/ou des parents) ou d'arrêt de l'étude par décision du Promoteur ou de l'Investigateur.

## 2.2 Matériel

Les passations ont lieu au CMRR (Centre Mémoire de Ressources et de Recherche) de Nice. L'enfant se trouve en situation duelle avec le pédopsychiatre dans une salle composée de trois endroits distincts destinés à la passation des différents modules.

Le **module vidéo** consiste en un entretien pédopsychiatrique durant lequel la batterie KidIQol informatisée est administrée afin d'effectuer une mesure de la qualité de vie (Gayral-Taminh et al., 2005). Les 44 items de cette batterie explorent les domaines suivants : santé physique et psychique (13 items), vie familiale (9 items), vie scolaire (9 items), vie sociale et environnement (13 items). Pour chaque question, une illustration (adaptée à l'identité sexuée de l'enfant) apparaît, accompagnée d'une légende. Selon la nature des questions, deux échelles de réponses utilisant 5 niveaux chacune sont possibles. La première échelle concerne 36 items, est graduée en « tout à fait d'accord / d'accord / je ne sais pas / pas d'accord / pas du tout d'accord » et a pour objectif d'évaluer le degré d'adhésion du sujet à la proposition (par exemple, « j'aime l'école »). La seconde échelle concerne 26 items, est graduée en « toujours / souvent / quelque fois / rarement / jamais » et a pour objectif l'expression de la fréquence de survenue des différentes situations évoquées (par exemple, « je m'ennuie »). L'enfant doit alors cliquer sur la graduation correspondant le mieux à sa décision puis valider sa réponse en cliquant sur « ok ». La dernière question est une échelle de 5 graduations (« ma vie est très belle / ma vie est belle / ma vie est moyenne / ma vie est moche / ma vie est très moche ») qui a pour but d'explorer le sentiment général que l'enfant a de sa qualité de vie.

Le **module Relax** consiste en une immersion visuelle et auditive. Le film est diffusé sur un mur d'images (Barco) stéréoscopique constitué de deux écrans LED Full HD de 70 pouces de résolution 1920x1080 pixels. Le port de lunettes synchronisées pour la vision 3D est nécessaire. Le son est émis grâce à deux enceintes situées de part d'autre de l'écran. Les signaux EEG recueillis lors du

visionnage sont enregistrés grâce au casque sans fil EPOC EMOTIV, composé de 14 électrodes salines placées sur le cuir chevelu conformément au système international 10-20. Cet appareil a été choisi pour son utilisabilité et sa précision (Stamps & Hamam, 2010 ; Tong & Zhu, 2015). Les données sont enregistrées avec un filtre passe-bande de 60 Hz à un taux d'échantillonnage de 2048 Hz en interne. Un lissage a ensuite été réalisé à 128 Hz, le bruit de 60 Hz étant éliminé à l'aide d'un filtre coupe-bande numérique. Le logiciel Test Bench est relié en Bluetooth au casque et permet l'acquisition des données lors de la passation. Le logiciel propriétaire d'EMOTIV, Pure-EEG version Xavier Pure-EEG, a permis la récupération des données en format csv dans le but d'être traitées numériquement. Des librairies de traitement du signal dans le langage de programmation Python ont été utilisées.

Trois immersions différentes sont proposées aux sujets : la vidéo de l'île est issue du protocole Relax, les deux autres vidéos (manège et zoo) ont été spécialement conçues par l'équipe CoBTeK pour le protocole JeREV. Les stimulations visuelles et auditives proposées suivent une séquence en U, qui a pour objectif une diminution de l'anxiété tout en maintenant l'éveil du sujet.

Le **module jeu** se pratique en présence d'un pédopsychiatre et à l'aide d'un ordinateur à écran tactile. Il intègre des images dont les scénarios ont été créés par l'équipe CoBTeK. La durée de ce module varie en fonction de l'âge de l'enfant. Pour les participants âgés de 6 à 9 ans, 6 vignettes sont proposées alors que les 10-12 ans en ont 9. Le thème de la bande dessinée est directement en lien avec la vidéo précédemment visionnée. Il s'agit donc des environnements suivants : manège lors de la première séance, île lors de la deuxième et zoo en dernier. Chaque création de bande dessinée suit un scénario précis, calqué sur le schéma narratif classique d'une histoire : situation initiale et présentation de la quête du personnage, élément perturbateur, élément de résolution, issue. Le premier choix proposé à l'enfant porte sur la situation initiale et la quête. L'enfant est donc invité à choisir le décor, l'humeur du personnage, la nature de la quête et l'état d'esprit du personnage. Pour chacun de ces items, 3 vignettes de différentes valences (positive, négative, neutre) sont proposées. L'élément perturbateur et le moyen de résolution doivent ensuite être choisis, au moyen de 2 vignettes pour chaque item. Pour finir, l'enfant doit choisir une issue, qui consiste en une réussite ou un échec. Pour les enfants âgés de 9 à 12 ans, au terme de la péripétie s'ajoute une issue intermédiaire pour laquelle le choix se fait entre 3 vignettes : échec, réussite mitigée, franche réussite. S'ensuit une seconde péripétie composée d'un élément perturbation et d'une résolution. La fin de la bande dessinée est le choix d'une l'issue, qui peut être une réussite ou bien un échec.

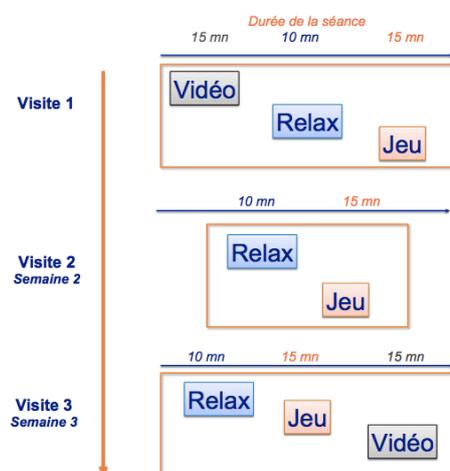
Pour obtenir tous les scénarios de la bande dessinée, merci de contacter Mme Marine CIANO à l'adresse suivante : [marineciano@outlook.fr](mailto:marineciano@outlook.fr).

## 2.3 Méthode

### Déroulement de l'étude

Le début des inclusions au protocole JeREV a eu lieu en mars 2017 pour une durée de 9 mois. Une semaine après leur inclusion, les sujets ont bénéficié de 3 séances réparties sur 3 semaines consécutives, dont le déroulement est explicité sur la figure 2.

Figure 2. Déroulement du protocole

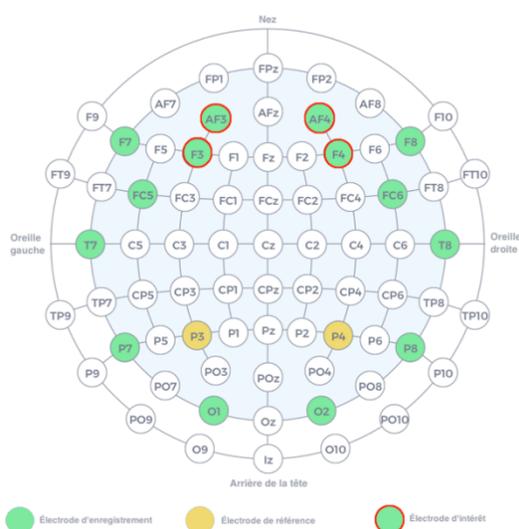


Le **module vidéo** consistait en un entretien filmé en situation duelle avec un pédopsychiatre d'une durée de 15 minutes, ayant pour but de faire parler l'enfant d'événements émotionnels. Durant cet entretien, la KidIQol est proposée à l'enfant. Pour commencer, l'évaluation renseignait les informations relatives à l'enfants (sexe, âge, niveau scolaire), puis, les 44 items se succédaient. Pour les enfants sachant lire et utiliser l'ordinateur, le rôle de l'examineur était minime. Dans le cas contraire, l'adulte pouvait lire le texte et manipuler la souris. La batterie étant informatisée, le logiciel procédait à la passation ainsi qu'à l'enregistrement des réponses. Le score total obtenu était ramené sur 100 points. Les auteurs indiquent qu'une augmentation de 4 points du score total ou bien du score par domaine exploré représente une différence significative.

**Relax** est un procédé d'immersion par réalité virtuelle et sensorielle en 2 dimensions initialement créé pour la relaxation des adultes puis adapté aux enfants dans le cadre du protocole JeREV. Avant le début de la séance, un dispositif EEG était placé sur la tête de l'enfant, l'appareil lui étant présenté comme un casque d'explorateur spatial afin d'éviter toute anxiété relative au caractère intrusif du

matériel. Le sujet était confortablement assis et visionnait un des trois paysages en fonction d'un ordre préétabli : la première immersion se passe dans une île, la deuxième dans un manège et la troisième dans un zoo. Des éléments sonores s'ajoutaient à l'exploration afin d'augmenter le sentiment de présence et d'immersion. Avant et après l'immersion, une auto-évaluation du ressenti émotionnel par le biais de la SAM était proposée au sujet. Durant l'immersion, le casque EEG mesurait l'activité cérébrale. Concernant la première et la troisième immersion, nous avons sélectionné respectivement 3,30 minutes et 4,42 minutes de données EEG continues, sur lesquelles un filtre médian a été appliqué. Les 30 premières et les 30 dernières secondes d'enregistrement ont été échantillonnées. La transformée de Fourier a été appliquée afin de convertir les données temporelles en représentations fréquentielles. La densité spectrale de puissance a permis de définir des ondes réparties en plages de fréquences comme suit : ondes delta comprises entre 0,2 et 4 Hz, ondes thêta comprises entre 4 et 8 Hz, onde alpha comprises entre 8 et 12 Hz, ondes bêta comprises entre 12 et 30 Hz, onde gamma situées au-delà de 30 Hz. Notre intérêt s'est porté sur les ondes bêta et thêta, dont le ratio est connu comme étant potentiellement corrélable avec des capacités de régulation émotionnelle. Dans le cadre de la mesure celle-ci, l'activité des électrodes correspondant aux zones préfrontales et frontales gauches et droites (respectivement AF3, AF4 et F3, F4) (figure 3) a été étudiée.

Figure 3. Nom et position des électrodes dans le système 10-20 (schéma issu du site emotiv.com modifié).



Enfin, le **module jeu** était systématiquement présenté après Relax. Il consistait en la création informatique d'une bande dessinée (BD), en lien avec le paysage précédemment exploré avec Relax. Avant de créer son histoire, l'enfant devait choisir au préalable les images qu'il allait utiliser pour

chacune des catégories suivantes : le décor (jour ou nuit), les caractéristiques des personnages, la quête, un ou plusieurs obstacles ainsi que la clé pour vaincre ceux-ci. Pour chaque catégorie, plusieurs images étaient proposées, chacune ayant une valence neutre, positive ou négative, présentées aléatoirement. La cotation de la bande dessinée se faisait à partir d'une grille préétablie par le clinicien, détaillée ci-dessous.

Les enfants âgés de 6 à 9 ans pouvaient obtenir la note maximale de 11 points, répartis de la manière suivante :

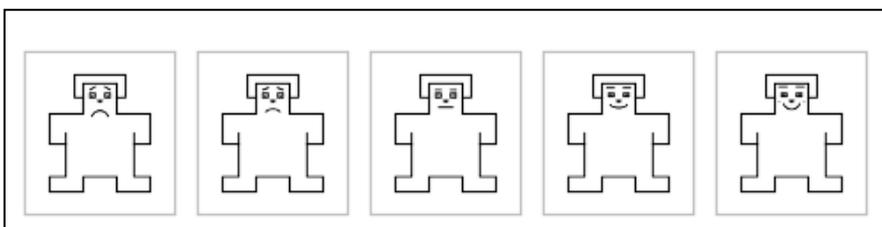
- Choix du décor : agréable (2 points), neutre (1 point), désagréable (0 point)
- Choix de l'humeur du personnage : joyeuse (2 points), neutre (1 point), triste (0 point)
- Choix de la quête : positive (2 points), passive (1 point), malfaisante (0 point)
- Choix de l'état d'esprit du personnage avant la quête : enthousiasme (2 points), neutralité (1 point), peur (0 point)
- Choix de l'élément perturbateur : problème mineur, problème important
- Choix de l'élément de résolution : problème important/moyen moindre (1 point), adéquation problème/moyen (0 point), problème mineur/solution démesurée (- 1 point)
- Choix de l'issue : réussite (2 points), échec (0 point)

Les enfants âgés de 10 à 12 ans pouvaient obtenir la note maximale de 14 points. L'élément ci-dessous était ajouté à la cotation précédente :

- Choix de l'issue intermédiaire : franche réussite (2 points), réussite mitigée (1 point), échec (0 point)

Au terme de ce module, il avait été proposé à l'enfant de donner son ressenti quant à la BD par le biais de l'échelle plaisir-déplaisir de la SAM (figure 3).

Figure 4. Échelle plaisir-déplaisir de la SAM.



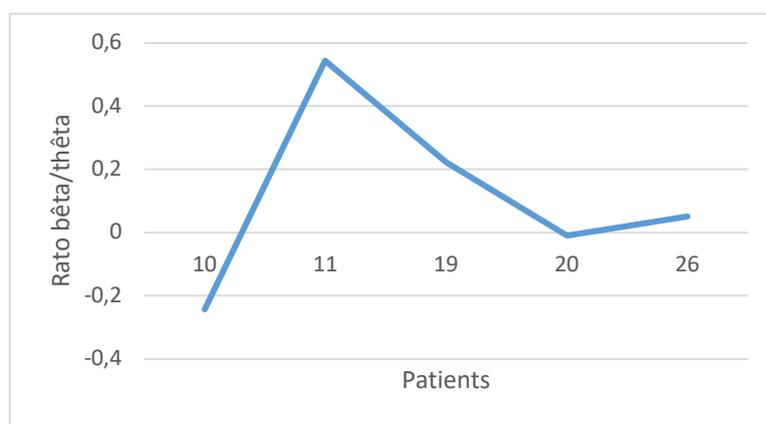
L'ensemble des données recueillies lors de l'étude ont été consignées dans un cahier d'observation auquel un fichier csv contenant les résultats obtenus à la KidIQoI ainsi que l'impression des données EEG ont été ajoutés. Au sein de notre étude, nous nous sommes focalisés sur Relax puis sur la SAM,

la KidIQoI ainsi que sur la BD, dont les mesures constituent respectivement nos objectifs primaire et secondaire.

### 3 Résultats

Les mesures de l'activation cérébrale des patients 10, 11, 19, 20 et 26 ont été retenus pour la première immersion Relax (V1). L'intérêt des mesures EEG de la V1 est l'appréciation de l'évolution de l'activité cérébrale aux niveaux frontal et préfrontal entre le début et la fin de la première immersion.

Figure 5. Degré de variation d'activité frontale et préfrontale en V1 entre T1 et T2.



Le ratio bêta/thêta est obtenu par la différence de la moyenne d'activation des 4 électrodes en T1 et en T2.

D'après le graphique ci-dessus, trois profils se distinguent. Le patient 10 présente un ratio négatif. A l'inverse, les patients 11, 19 et 26 présentent un ratio positif. Enfin, concernant le patient 20, il est difficile de conclure car le ratio obtenu est très proche de 0.

Figure 6. Tableau représentant le test apparié de Wilcoxon appliqué aux mesures des électrodes préfrontales et frontales de la V1.

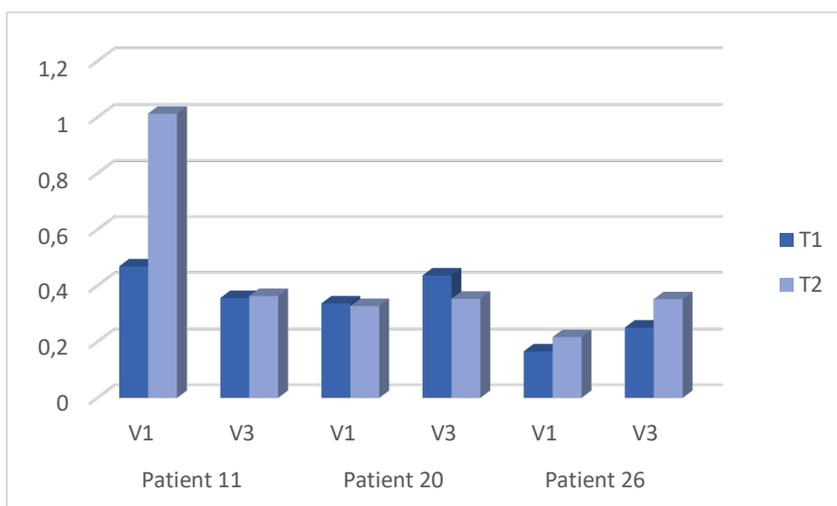
|                |    | Moyenne | [SD]   | Médiane | [Q1 ; Q2]     | p-valeur* |
|----------------|----|---------|--------|---------|---------------|-----------|
| AF3 bêta/thêta | T1 | 0,31    | [0,21] | 0,21    | [0,18 ; 0,54] | 0,813     |
|                | T2 | 0,42    | [0,41] | 0,23    | [0,20 ; 0,33] |           |
| AF4 bêta/thêta | T1 | 0,37    | [0,27] | 0,42    | [0,11 ; 0,46] | 0,625     |
|                | T2 | 0,42    | [0,28] | 0,32    | [0,25 ; 0,48] |           |
| F3 bêta/thêta  | T1 | 0,37    | [0,22] | 0,35    | [0,18 ; 0,56] | 0,438     |
|                | T2 | 0,47    | [0,32] | 0,35    | [0,34 ; 0,41] |           |
| F4 bêta/thêta  | T1 | 0,29    | [0,10] | 0,32    | [0,19 ; 0,37] | 0,313     |
|                | T2 | 0,50    | [0,30] | 0,45    | [0,31 ; 0,49] |           |

La figure 6 présente les données statistiques relatives aux mesures EEG concernant les électrodes frontales et préfrontales gauches et droites. Le calcul du ratio bêta/thêta permet la mise en évidence d'une éventuelle augmentation des ondes rapides bêta (correspondant à un état d'éveil) par rapport aux ondes lentes thêta (correspondant à un état de profonde relaxation). L'accroissement d'un tel ratio signifierait une augmentation de l'activation cérébrale dans les zones étudiées. La troisième colonne présente le taux d'activation moyen à un temps donné (T1 ou T2) et permet une comparaison de l'activité entre le début et la fin de l'immersion.

Le test apparié de Wilcoxon, réalisé avec le logiciel R version 3.5.1, a été choisi afin de comparer deux mesures d'une variable effectuée sur les mêmes sujets. D'après ce test reporté sur la figure 5, les p-valeur mettent en évidence que l'évolution entre T2 et T1 n'est pas significative (p étant supérieur à 0,05), et ce quelle que soit l'électrode considérée. Malgré une absence de significativité au niveau statistique, nous pouvons remarquer qualitativement une augmentation moyenne systématique des activations préfrontale et frontale.

Nous procédons ensuite à une comparaison de l'activation cérébrale entre la première et la troisième immersion (V3), qui permet l'appréciation de l'évolution de l'activation entre le début et la fin du protocole. Pour cette mesure, nous disposons des patients 11, 20 et 26.

Figure 7. Évolution de l'activation des zones frontale et préfrontale durant les séances 1 et 3.

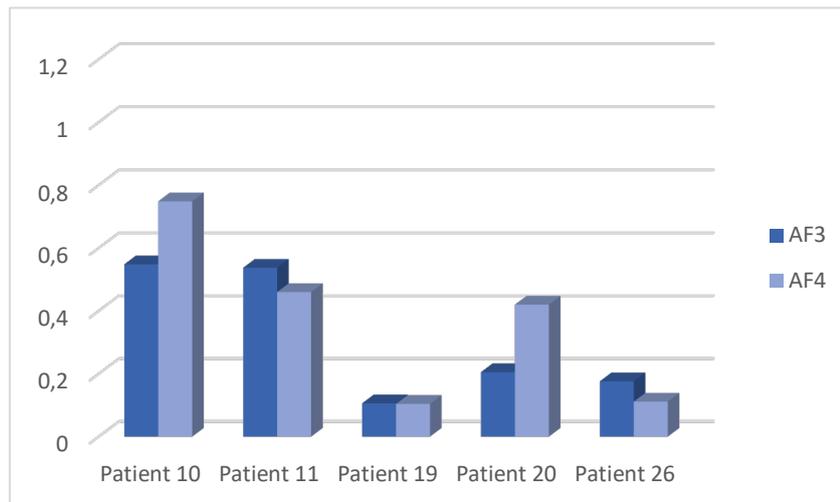


D'après la figure ci-dessus, trois profils se distinguent à nouveau. On constate que le patient 11, qui avait eu une forte activation en V1, présente une stagnation en V3. Concernant le patient 20, la très

faible diminution de l'activation cérébrale constatée en V1 s'accroît en V3. À l'inverse, le patient 26 a présenté une augmentation de l'activation sur toute la durée du protocole.

Au sein de notre partie théorique (cf. 2.1.1), nous avons vu que l'ESPT causait une asymétrie entre les cortex préfrontaux droit et gauche, ce dernier étant hypoactivé. Nous concentrons donc notre attention sur les électrodes AF3 et AF4, dans un premier temps avant toute immersion (T1 de la V1).

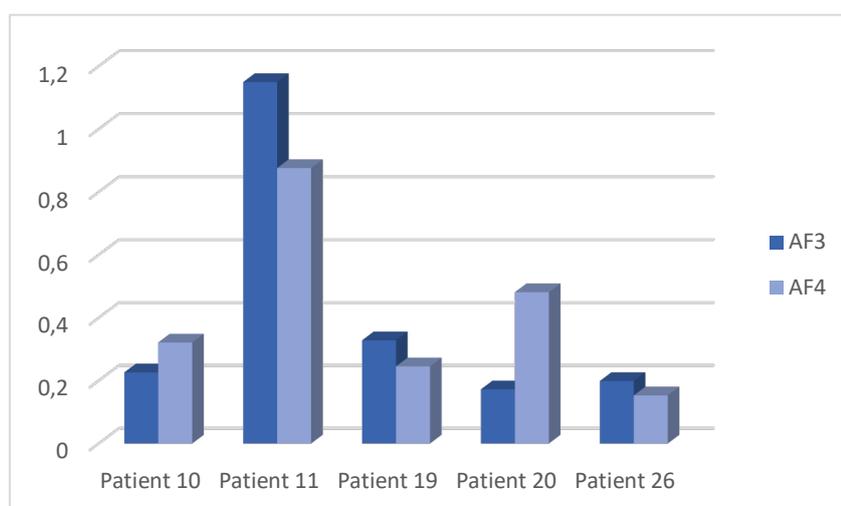
Figure 8. Comparaison des taux d'activation des électrodes AF3 et AF4 en T1 de la V1.



La figure 8 met en évidence une hypoactivation du cortex préfrontal gauche par rapport au droit pour les patients 10 et 20. À l'inverse, ce cortex est hyperactivé chez les patients 11 et 26. Concernant le patient 19, l'activité préfrontale droite et gauche semble symétrique.

Nous nous intéressons ensuite à l'évolution de l'activation préfrontale droite et gauche au sein de la V1 afin d'apprécier l'effet de la première stimulation sur l'asymétrie d'activation. Au terme de la V1 (figure 9), les constatations sont quasiment les mêmes que pour la figure 8 en termes d'asymétrie. En effet, les patients 10 et 20 présentent toujours une hypoactivation préfrontale gauche, à l'inverse des patients 11 et 26. En revanche, le patient 19, qui présentait une symétrie d'activation en début de V1, présente désormais une hyperactivation gauche.

Figure 9. Comparaison des taux d'activité des électrodes AF3 et AF4 en T2 de la V1.



Cependant, si l'on compare qualitativement les résultats obtenus en T2 avec ceux obtenus en T1 (figure 10), nous pouvons constater que l'écart d'activation entre AF3 et AF4 est réduit pour les patients 10 et 26, les électrodes étudiées tendant vers une symétrie d'activation préfrontale et frontale. En revanche, le phénomène inverse est observé pour les patients 11, 19 et 20.

Figure 10. Tableau comparatif de l'écart d'activation entre les électrodes préfrontales gauche et droite en V1 entre T1 et T2.

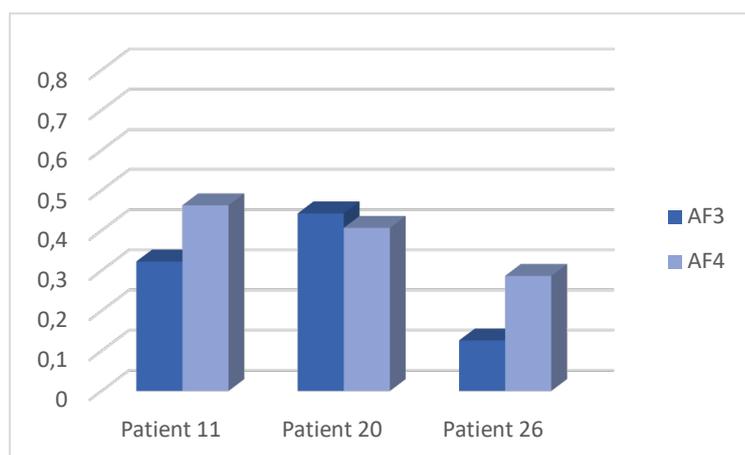
|         |    | Patient 10  | Patient 11   | Patient 19   | Patient 20  | Patient 26   |
|---------|----|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| AF4-AF3 | T1 | 0,200337569 | -0,077294478 | -0,001606947 | 0,21470911  | -0,064662243 |
|         | T2 | 0,095096295 | -0,273536973 | -0,082812752 | 0,308774355 | -0,045818428 |

*Le tableau ci-dessus met en évidence l'écart d'activité entre AF3 et AF4 au début et à la fin de la première immersion. L'obtention d'une valeur plus proche de 1 en T2 par rapport à T1 signifie une diminution de l'asymétrie d'activation entre les électrodes préfrontales droite et gauche à l'issue de la stimulation.*

Pour finir, une analyse qualitative des résultats met en évidence une augmentation de l'activation de l'électrode préfrontale gauche AF3 pour 3 patients sur 5 (patients 11, 19 et 26). L'électrode AF4 présente une augmentation de son activation pour tous les patients, à l'exception du patient 10.

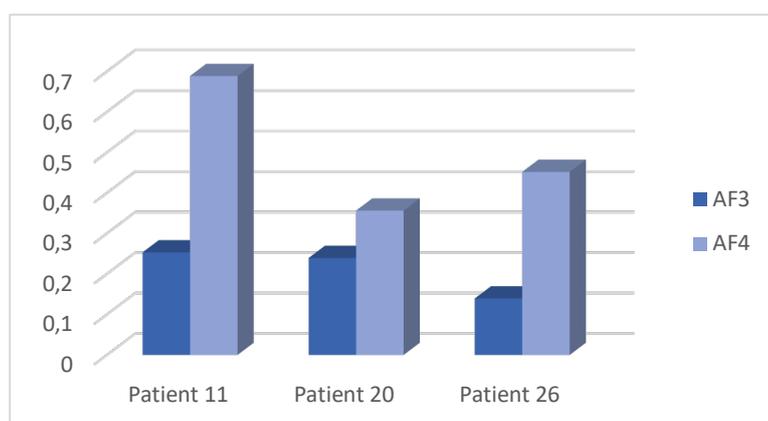
Nous nous intéressons ensuite à la V3, pour laquelle nous allons explorer la symétrie préfrontale droite et gauche à T1 et T2. Cette mesure sera réalisée sur les patients 11, 20 et 26, les patients 10 et 19 ayant été exclus du fait de durées d'enregistrements EEG hétérogènes.

Figure 11. Comparaison des taux d'activation des électrodes AF3 et AF4 en T1 de la V3.



En début de V3 (figure 11), tous les patients présentent une asymétrie d'activation, avec une hypoactivation préfrontale gauche pour les patients 11 et 26 et une légère hyperactivation préfrontale droite pour le patient 20. Les constatations opposées avaient été faites en début de V1.

Figure 12. Comparaison des taux d'activation des électrodes AF3 et AF4 en T2 de la V3.



A l'issue du protocole, on constate qu'une hyperactivation droite est observée chez tous les patients.

Figure 13. Tableau comparatif de l'écart d'activation entre les électrodes préfrontales gauche et droite en V3 entre T1 et T2.

|         |    | Patient 11  | Patient 20   | Patient 26  |
|---------|----|-------------|--------------|-------------|
| AF4-AF3 | T1 | 0,139998535 | -0,036058056 | 0,160777529 |
|         | T2 | 0,435357365 | 0,11688799   | 0,312343323 |

*Le tableau ci-dessus met en évidence l'écart d'activité entre AF3 au terme de la V3. Aucun des trois patients n'obtient en T2 une valeur plus proche de 1 qu'en T1, cela témoigne de l'augmentation de l'asymétrie d'activation entre les électrodes préfrontales droite et gauche en fin de V3. Cette asymétrie se fait au profit du cortex préfrontal droit qui est hyperactivé dans toute la population.*

D'après l'ensemble des résultats énoncés précédemment, nous observons que les patients 11 et 26 présentent une inversion de l'asymétrie préfrontale au terme du protocole. En effet, une hypoactivation droite avait été observée en T1 V1 alors qu'une hypoactivation gauche est constatée en T2 V3. Concernant le patient 20, l'asymétrie préfrontale avec hypoactivation gauche initiale est inchangée après le protocole.

## ÉTUDE DE CAS

Notre objectif secondaire est de vérifier s'il existe une corrélation entre les données EEG et les autres données du protocole, à savoir des éléments cliniques, la qualité de vie et la création d'un scénario positif de BD. L'hypothèse que nous formulons est que l'augmentation de l'activation cérébrale s'accompagne d'une augmentation des scores aux échelles de qualité de vie et de création de BD (et inversement).

Pour cela, nous nous intéresserons au patient 11, que nous nommerons W. Nous avons choisi de concentrer notre attention sur ce dernier d'une part car son profil s'était révélé particulièrement intéressant. En effet, l'atypisme de son activation cérébrale en V3 lors de l'analyse des données EEG nous avait interpellés. D'autre part, il s'agit du patient pour lequel nous avons le plus de données.

W est un jeune garçon âgé de 7 ans 10 mois le jour de la première visite. Directement après les attentats, la mère du patient ne relevait aucun trouble en journée. En revanche, W était craintif la nuit, refusait de dormir seul dans son lit et rejoignait systématiquement son frère, s'assurait que la porte d'entrée était fermée, avait des colères. Les craintes ainsi que la nervosité s'étaient diminuées avec le temps.

Lors de la première visite, W s'est montré très volontaire et enthousiaste. L'enfant ne présentait aucune peur de l'étranger ni de l'inconnu et n'avait pas de question ni d'appréhension concernant le casque EEG. Lors de la deuxième visite, l'enfant était peu expressif mais s'investissait pleinement dans la séance et était demandeur de jouer. W était beaucoup plus souriant à la fin de la stimulation et paraissait plus détendu, s'exprimant facilement oralement et n'hésitant pas à exprimer ses goûts. Les mesures relatives à cette séance intermédiaire ne seront pas exploitées, l'accent étant mis sur les visites 1 et 3. Lors de la troisième visite, W était content de revenir et avait rapidement retrouvé ses marques. Le clinicien rapporte que le patient aimait montrer sa réussite et être valorisé. L'enfant était très content du film et de la BD.

Figure 14. Scores bruts obtenus aux différentes mesures issues du protocole JeREV durant les séances 1 et 3 (les résultats différents obtenus entre V1 et V3 sont identifiés en gras).

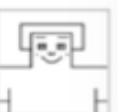
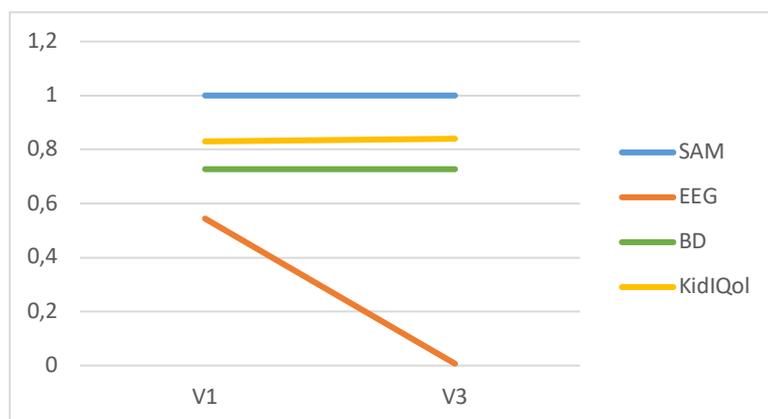
|           | KidIQol                      |               | SAM avant immersion  | Immersion 3D  |                           | SAM après immersion   | BD         |            |  |
|-----------|------------------------------|---------------|--|---|---------------------------|---|------------|------------|--|
|           |                              |               |  | T1  |                           |   |            |            |  |
| <b>V1</b> | Santé                        | 80/100        | 9/9<br> | T1  | 0,468966536               | 9/9<br> | Décor      | 2/2        |  |
|           | Vie familiale                | 84/100        |  | T2  | 1,013160116               |   | Humeur     | 2/2        |  |
|           | Vie scolaire                 | 84/100        |  |  |                           |   | Quête      | 1/2        |  |
|           | Vie sociale et environnement | 85/100        |  |   | Etat d'esprit             |   | 1/2        |            |  |
|           | Total                        | 83/100        |  |   | Adéquation problème/moyen |   | 0/1        |            |  |
|           |                              |               | Issue  | 2/2   |                           |   |            |            |  |
|           |                              |               | Total  | 8/11  |                           |   |            |            |  |
| <b>V3</b> | Santé                        | <b>86/100</b> | 8/9<br> | T1  | 0,356146038               | 9/9<br> | Décor      | <b>1/2</b> |  |
|           | Vie familiale                | <b>80/100</b> |  | T2  | <b>0,363131269</b>        |   | Humeur     | 2/2        |  |
|           | Vie scolaire                 | <b>87/100</b> |  |  |                           |   | Quête      | 1/2        |  |
|           | Vie sociale et environnement | <b>83/100</b> |  |   | Etat d'esprit             |   | <b>2/2</b> |            |  |
|           | Total                        | <b>84/100</b> |  |   | Adéquation problème/moyen |   | 0/1        |            |  |
|           |                              |               | Issue  | 2/2   |                           |   |            |            |  |
|           |                              |               | Total  | <b>8/11</b>   |                           |   |            |            |  |

Figure 15. Corrélations entre les différentes mesures issues du protocole JeREV.



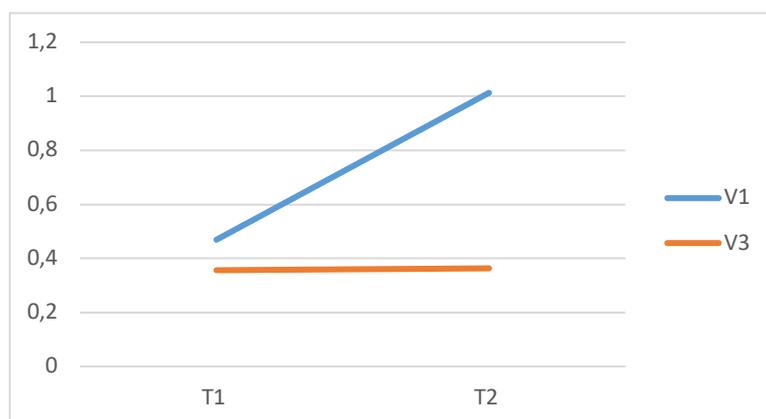
Le tableau ci-dessus met en évidence une évolution du score de la KidIQol entre V1 et V3 dans l'ensemble des domaines. Concernant l'environnement, quatre items ont obtenu un degré d'approbation moindre voire une neutralité à V3 en comparaison avec la V1 (« j'aime ma chambre », « j'aime mes jouets », « j'aime la récré », j'aime que mes copains parlent de moi »). A l'inverse, deux items ont engendré une réponse de valence positive (« j'aime courir et sauter », « je m'énerve quand je n'ai pas ce que je veux »). Le score relatif à l'environnement passe ainsi de 85 à 83 sur 100. Le domaine de l'école a généré sept changements de réponse entre V1 et V3 : cinq items se sont améliorés (« j'aime l'école », « je suis content quand mes parents voient ma maîtresse », « j'aime ma

maîtresse », « j'ai peur de ne pas comprendre de nouvelles leçons », « je suis puni ») et deux items ont obtenu des réponses de valence neutre voire négative (respectivement « je suis content de montrer mes cahiers à mes parents » et « j'ai peur des contrôles »). Le domaine de la santé est celui dont le score a le plus augmenté et de manière significative, passant de 80 à 86 sur 100 : six propositions ont obtenu de meilleurs scores (« j'ai un handicap/une maladie qui gâche ma vie », « je me trouve laid », « je fais des cauchemars », « je suis malade », « j'ai mal au ventre ou à la tête », « il m'arrive d'être triste ») alors qu'un seul item a généré une réponse de valence négative (« je m'ennuie »). Enfin, concernant la famille, le score passe de 84 à 80 sur 100 du fait des changements suivants : trois items obtiennent un degré d'approbation moindre voire une neutralité (« j'aime parler avec mes parents », « je m'entends bien avec papa », « j'aime que mes parents parlent de moi »), deux items obtiennent un degré d'approbation plus élevé (« je m'entends bien avec mes frères et sœurs » et « je me débrouille seul »).

En V3, W a sélectionné un mannequin de la SAM moins content qu'en V1 avant l'immersion 3D. Cependant, après l'immersion, l'enfant a changé de désignation, obtenant ainsi une réponse identique à celle observée lors de la V1.

Nous pouvons également observer que l'immersion 3D en V3 n'a pas généré les mêmes réactions. En effet, comme en témoigne la figure 16, la première immersion avait donné lieu à une augmentation du ratio bêta/thêta alors qu'une stagnation est observée lors de la troisième immersion.

Figure 16. Évolution du ratio bêta/thêta des électrodes EEG frontales et préfrontales en V1 et V3.



Enfin, le score à la BD est inchangé quantitativement. En revanche, d'un point de vue qualitatif, le décor choisi est passé de positif en V1 à neutre en V3 et l'état d'esprit a subi la transformation inverse. Malgré ces modifications, l'adéquation problème/moyen et le choix de l'issue sont conservés.

## DISCUSSION

Notre objectif principal consistait en l'évaluation des capacités de régulation émotionnelle générées par une immersion virtuelle multisensorielle. Les mesures EEG obtenues en V1 mettent en évidence que le protocole a eu un impact différent en fonction des sujets. Les garçons âgés de 9 ans (patients 10 et 20) ont présenté respectivement une diminution et une stagnation de leur ratio bêta/thêta durant l'immersion. Cela va à l'encontre de notre hypothèse que JeREV apporterait une relaxation propice à une régulation émotionnelle. A l'inverse, le patient 11, âgé de 7 ans, présente un ratio augmenté au terme de la V1, qui va dans le sens d'une augmentation de l'activité frontale et préfrontale et de la mise en place d'une régulation émotionnelle inconsciente. Au vu de cette dissociation, nous pouvons émettre l'hypothèse d'un effet de l'âge chez les garçons sur les résultats obtenus à l'issue de la première séance, le patient de 7 ans bénéficiant d'une augmentation du ratio à l'inverse des patients âgés de 9 ans. Les filles (patientes 19 et 26), âgées de 7 ans, ont également présenté une augmentation de leur ratio, observation allant dans le sens d'une régulation émotionnelle. Au vu de ces constatations, nous pouvons formuler l'hypothèse que le protocole JeREV permet une régulation émotionnelle des enfants âgés de 7 ans et que cela ne s'observe plus à 9 ans. Les mesures EEG de patientes âgées de 9 ans auraient été souhaitables afin de procéder à un appariement en âge des patients filles et garçons.

Grâce à l'analyse statistique, nous nous apercevons qu'en moyenne, les participants augmentent leur ratio en V1 entre T1 et T2, et ce pour l'ensemble des électrodes frontales et préfrontales. Cette augmentation n'étant pas statistiquement significative, nous pouvons émettre les hypothèses qu'un allongement du temps de stimulation ainsi que l'augmentation de la taille de l'échantillon permettrait la mise en lumière de résultats de puissance statistique suffisante pour conclure à un effet du protocole sur la régulation émotionnelle des sujets.

Concernant l'évolution entre la première et la troisième visite, la figure 7 mettait également en évidence trois profils. D'une part le patient 11, qui avait bénéficié d'une forte augmentation de son ratio bêta/thêta en V1, présentait alors une stagnation de celui-ci en V3. Nous pouvons formuler diverses hypothèses justifiant ce constat. La première hypothèse fait référence au processus d'habituation : l'immersion n'aurait d'effet que lorsqu'elle est découverte et le bénéfice s'atténuerait au fur et à mesure des présentations du stimulus. La deuxième hypothèse concerne l'anticipation inconsciente de l'effet de l'immersion : le sujet se mettrait d'emblée en condition pour recevoir la stimulation, engendrant un état initial de régulation important en T1 et ainsi une marge de progression moindre durant la vidéo. La survenue d'un événement personnel interférent entre V1 et

V3 est une autre hypothèse à ne pas exclure. La vidéo proposée en V3 étant différente que celle de la V1, la nature du stimulus pourrait expliquer la stagnation du ratio observée chez le patient 11. Enfin, le constat d'une stagnation du ratio en V3 pourrait être expliqué par un fort effet des deux stimulations précédentes (V1 et V2) qui auraient abouti à une désensibilisation du traumatisme et une baisse de l'anxiété justifiant un moindre besoin de régulation émotionnelle en V3. Le patient 20 présente, comme en V1, une diminution de son ratio en V3, allant à l'encontre de notre hypothèse que l'immersion générerait une augmentation de l'activation préfrontale et frontale. Cela pourrait être expliqué, d'une part, par le changement de vidéo entre V1 et V3. D'autre part, l'absence d'effet du protocole sur les enfants âgés de 9 ans en comparaison avec ceux âgés de 7 ans pourrait expliquer de tels résultats. Enfin, la patiente 26 présente une augmentation de son ratio en V3. Cela coïncide avec notre hypothèse initiale que l'immersion proposée par JeREV engendre une augmentation des activités frontale et préfrontale qui va dans le même sens qu'une régulation émotionnelle.

L'asymétrie d'activation préfrontale gauche relevée dans la littérature n'a été retrouvée que chez deux patients sur cinq en T1 de la V1. A l'issue de la première stimulation, deux patients ont vu leur asymétrie diminuée alors que trois l'ont vue augmenter. En T1 de la V3, une hypoactivation préfrontale gauche est observée chez tous les patients, conformément à la littérature. A l'issue du protocole (T2 de la V3), un accroissement de l'asymétrie d'activité préfrontale droite gauche est observé. Cela va à l'encontre de notre hypothèse initiale, qui était que le protocole JeREV contribuerait à une réduction de l'asymétrie due à l'ESPT. Cela peut s'expliquer par la durée du protocole qui semble insuffisante pour entraîner un remaniement de l'activation cérébrale et un rétablissement d'une symétrie d'activation entre les lobes préfrontaux droit et gauche. Ainsi, l'augmentation du nombre de séance et du temps de stimulation pourrait être une solution efficace.

Notre objectif secondaire consistait, d'une part, en une évaluation de l'impact du protocole sur les capacités de création de scénario positif et sur la qualité de vie. D'autre part, nous avons procédé à une corrélation des divers résultats obtenus avec les données EEG. Concernant W, les résultats détaillés précédemment mettent en évidence un score total augmenté à la KidIQoI, avec un domaine relatif à la santé amélioré de manière significative. L'item « je me trouve laid » est passé de la réponse « rarement » en V1 à « jamais » en V3, pouvant témoigner d'une augmentation de l'estime de soi de l'enfant au terme du protocole. La mère de W mettait en évidence des craintes à l'issue des attentats. Bien qu'elle indique leur réduction avec le temps, nous observons que certaines angoisses persistaient en début de protocole. En effet, l'enfant évoque qu'il a « quelquefois » peur de ne pas comprendre de nouvelles leçons mais cette réponse est changée au profit de « jamais » en V3. Cela peut s'expliquer par une augmentation de la confiance en soi. Cette hypothèse se retrouve également

au travers du choix des items de la BD en V3. En effet, l'enfant va privilégier un état d'esprit positif alors qu'il était neutre en V1. Cette composante était déjà probablement partiellement présente en V1 car l'issue choisie était d'emblée positive. L'adéquation problème/moyen est la même en V1 et en V3, témoignant d'une cohérence propre à l'enfant en termes de raisonnement logique.

Les items portant sur la santé physique (« je suis malade » et « j'ai mal au ventre ou à la tête ») ont obtenu des réponses de valence plus positive en V3 qu'en V1. Pour justifier cela, nous émettons l'hypothèse que la relaxation apportée par le protocole a eu des répercussions sur la santé physique et le bien-être du patient. Les mêmes conclusions peuvent être tirées concernant les cauchemars, symptomatiques du STP, que l'enfant faisait « souvent » en V1 puis « jamais » en V3. D'autres difficultés la nuit avaient été rapportées par la mère de W, ce dernier allant rejoindre son frère dans son lit quasi-systématiquement, habitude pouvant générer des conflits au sein de la fratrie. La réduction des cauchemars due à la relaxation apportée par JeREV a pu avoir comme conséquence une réduction de cette habitude et donc une amélioration des rapports entre frères, qui se retrouve dans l'item « je m'entends bien avec mes frères et sœurs » auquel W avait répondu par « ça m'est égal » en V1 et « d'accord » en V3. Une certaine nervosité après le traumatisme qui s'amointrissait avec le temps avait également été mentionnée par la mère. Au terme du protocole, l'item « je m'énerve quand je n'ai pas ce que je veux » s'est amélioré et a obtenu le score de valence la plus positive. Le ressenti émotionnel semble s'être également amélioré sous l'effet du protocole. En effet, l'item « il m'arrive d'être triste » a généré des réponses passant de « rarement » en V1 à « jamais » en V3. Les résultats obtenus à la KidIQol sont cependant à considérer avec précaution dans la mesure où il s'agit d'une auto-évaluation soumise à la subjectivité et à un biais de désirabilité sociale.

A la SAM en V1 avant l'immersion, l'enfant choisit l'item de valence la plus positive. Cela peut s'expliquer du fait que cette échelle est proposée directement après la KidIQol qui s'intéresse au patient par le biais de nombreuses questions touchant à divers domaines de sa vie et dont l'exploration peut avoir un début d'effet thérapeutique. Après l'immersion, l'enfant produit la même réponse. Il est difficile de justifier celle-ci par un effet de la stimulation car la première désignation avait généré le score maximal. En revanche, la V3 montre une progression du score entre la SAM avant et après l'immersion. Le score de 8/9 obtenu avant peut s'expliquer par le fait que l'enfant a déjà été confronté à la KidIQol en V1 et a donc pris moins de plaisir à répondre à des questions le concernant. Après l'immersion, le score obtenu est maximal et peut être justifié par l'apaisement induit par la stimulation multisensorielle. Cependant, cette constatation n'a pas été objectivée par les mesures EEG, qui mettent en évidence une stagnation du ratio bêta/thêta tout au long de la V3.

L'hypothèse d'un événement personnel interférent survenu entre V1 et V3 pouvant justifier un score de 8/9 avant l'immersion n'est pas exclue.

Les mesures EEG mettent en évidence une augmentation du ratio bêta/thêta durant la V1. Bien que statistiquement non significative, cette augmentation de ratio va dans le sens d'une augmentation des activités frontale et préfrontale durant l'immersion, ce qui est en accord avec la mise en place d'une régulation émotionnelle inconsciente chez W. Au cours de la V3, nous avons observé une stagnation du ratio, que l'on peut expliquer par les hypothèses exposées précédemment dans le cadre de notre objectif principal (cf. pages 33-34, paragraphe 3). Bien que les mesures d'activation ne montrent pas de variations, le patient avait signalé oralement au praticien être content de la vidéo, témoignant d'une satisfaction générée par l'immersion cependant non objectivable par les mesures EEG. Cette satisfaction avait été corroborée par la mère de W qui avait mentionné au clinicien, à l'issue du protocole, que l'enfant allait mieux. La dissociation entre les mesures cliniques qui augmentent et les mesures EEG qui diminuent va à l'encontre de notre hypothèse initiale qui était que l'augmentation EEG était corrélée avec l'augmentation de la qualité de vie et la création d'un scénario positif. Pour justifier une telle dissociation, nous pouvons penser que l'amélioration qualitative des données cliniques engendrerait un moindre besoin de régulation, ce qui justifierait les mesures EEG recueillies.

Au sein de notre partie 1.2., nous avons vu que la psychothérapie était une approche classique couramment utilisée dans le traitement du SPT. A l'inverse de JeREV, cette thérapie expose le patient au traumatisme. Le nombre de séances recommandées pour l'enfant s'élève de 12 à 25, à la différence du protocole JeREV pour lequel le nombre de séances, initialement fixé à 3, n'a pas fait l'objet d'une évaluation précise en termes d'effet dose-réponse. Bien que l'évolution soit positive grâce à la psychothérapie, un suivi à long terme est indispensable. La TCC est également centrée sur le traumatisme et présente une efficacité supérieure à celle de la psychothérapie. Cependant, le nombre de séances, tout comme JeREV, n'a pas été clairement défini. Au même titre que les deux techniques développées précédemment, l'EMDR et la VRET proposent elles aussi une exposition à l'événement traumatisant, contrairement à JeREV. De plus, la thérapie par exposition virtuelle remet en question la notion de relation thérapeutique, du fait de l'informatisation de l'immersion. L'immersion proposée par JeREV est également informatisée mais s'inscrit dans des séances durant lesquelles le clinicien interagit à de multiples reprises avec l'enfant, notamment lors de la passation de la KidIQol ou encore pendant le choix des items de BD. En revanche, la VRET met à disposition

des patients des situations d'immersion personnalisées (mais non standardisées), ce qui n'est pas le cas de JeREV pour lequel les vidéos font l'objet d'un ordre strict. La paroxétine est un autre mode de traitement du STP. Tout comme notre protocole, ce traitement est réservé aux enfants dont le cas est grave. Cependant, à l'inverse de JeREV, cet antidépresseur requiert une surveillance médicale particulière et une vigilance de l'entourage d'après le Vidal. Cette substance présente des effets indésirables tels que des épisodes maniaques ainsi que des précautions en cas d'épilepsie, de glaucome à angle fermé et de diabète, non retrouvés dans JeREV.

Les conclusions évoquées précédemment sont toutefois à nuancer au vu de la taille de l'échantillon et du nombre de séances dont ont bénéficié les sujets. Une randomisation des vidéos d'immersion ainsi que des comparaisons avec une population témoin paraissent souhaitables. Les futures recherches devront investiguer le nombre de séances nécessaires afin que le protocole JeREV puisse assurer un certain degré d'efficacité. Malgré cela, ce protocole est novateur pour de multiples raisons : d'une part il ne confronte pas le patient au souvenir traumatique à l'inverse de la majorité des techniques comparées précédemment et est centré sur le ressenti d'émotions positives, les interactions avec le clinicien sont nombreuses, la technique d'immersion est ludique et adaptée à la population infantile, enfin, les stimulations proposées ne sont en aucun cas dépendantes des capacités cognitives du patient.

## **CONCLUSIONS GENERALES**

Pour conclure, par le biais de notre partie théorique, nous avons vu que le STP avait des répercussions massives sur le sujet, tant au niveau cérébral que cognitif et comportemental. Il faut cependant garder à l'esprit qu'une majorité des études citées ci-dessus concernent le sujet adulte. L'ESPT chez l'enfant est un sujet encore assez peu abordé dans la littérature, au même titre que l'utilisation de mesures EEG auprès de cette population.

Dans le cadre de notre étude, nous avons évalué dans un premier temps les capacités de régulation émotionnelle lors d'une série d'immersions multisensorielles par le biais de mesures EEG. Nous avons mis en évidence que la première immersion engendrait une régulation chez les enfants âgés de 7 ans seulement. Concernant l'évolution entre la V1 et la V3, notre patient de 7 ans semble avoir tiré davantage profit de l'immersion en termes de régulation. Nous nuancions cependant nos propos étant

donné le faible effectif de notre échantillon. En outre, il apparaît que le protocole ne permet pas une réduction de l'asymétrie d'activation préfrontale droite et gauche, communément observée dans l'ESPT. Dans un second temps, nous nous sommes intéressés au cas du patient ayant eu la régulation la plus importante en V1, pour lequel nous avons corrélé l'ensemble des mesures relevées par le protocole (capacités de création d'un scénario positif, EEG, SAM, KidIQol) ainsi que des commentaires du clinicien et de la mère du patient. Nos résultats mettent en évidence que le protocole a eu un effet sur la santé physique et psychique du sujet avec, entre autres, une augmentation de la confiance et de l'estime de soi. Les résultats obtenus sont à considérer avec précaution étant donné que notre étude portait sur un cas unique, rendant la généralisation difficile.

## **PERSPECTIVES**

En termes de perspectives de recherche, le protocole pourrait intégrer une mesure de réaction électrodermale (RED) qui permettrait l'objectivation de l'activité amygdalienne (Critchley, 2002). Ainsi, nos observations concernant les activations frontales pourront être directement reliées à une réponse de la part de l'amygdale. Cela aurait pour conséquence la mise en évidence de l'efficacité du circuit fronto-limbique, ou bien son altération, comme l'ont prouvé Thomason et al. chez les patients jeunes atteints d'ESPT (2015). Bien que les trois vidéos différentes proposées lors de la stimulation multisensorielle suivaient une progression en U inspirée des techniques d'hypnose et d'anesthésie, leur randomisation pourrait être souhaitable dans le but d'éviter la formulation d'interprétations qui seraient propres à une vidéo et non une autre. Concernant les participants, un échantillon d'autant plus grand permettrait de conférer à l'étude une puissance statistique suffisante et ainsi de mettre en évidence l'intérêt réel du protocole sur la prise en charge du SPT. De même, l'inclusion d'une population témoin pourrait être envisagée dans le but de la comparer avec le groupe expérimental ayant bénéficié des trois visites proposées par JeREV et ainsi évaluer l'effet du protocole. A l'heure actuelle, le neurofeedback est une technique de plus en plus utilisée dans le traitement des troubles neurologiques et psychologiques. L'ajout d'une stimulation intégrant cette notion au protocole pourrait être intéressant et a déjà montré des preuves de son efficacité sur une population adulte d'ancien combattants atteints de SPT lié au combat.

Nous savons que l'exposition à la violence expliquait une variation importante du QI d'un enfant (un enfant confronté à la violence ayant un QI plus faible) mais également une variation significative de

ses performances en lecture. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'exposition à la violence entrave le fonctionnement intellectuel. Aussi, nous savons que les maltraitances subies dans l'enfance entraînent un traumatisme qui pourrait conduire à une hyperactivité du système nerveux autonome qui affecterait les capacités de concentration en situation d'apprentissage ou lors de tâches cognitives complexes. Enfin, la littérature nous indique que les sujets adolescents atteints de SPT présentent des scores significativement inférieurs à des tests couvrant différentes disciplines scolaires (arts du langage, mathématiques, sciences, sciences sociales, orthographe, lecture) en comparaison à une population non traumatisée. Au vu de ces constats, nous pourrions envisager un suivi régulier et une surveillance accrue des enfants et adolescents souffrant de SPT au sein duquel des bilans neuropsychologiques et de langage seraient dispensés. Dans le cas d'un enfant déjà suivi en orthophonie, le praticien devra tenir compte des éventuelles difficultés d'ordre attentionnel dans les tâches proposées en séance.

## BIBLIOGRAPHIE

- Alisic, E., Zalta, A. K., Wesel, F. van, Larsen, S. E., Hafstad, G. S., Hassanpour, K., & Smid, G. E. (2014). Rates of post-traumatic stress disorder in trauma-exposed children and adolescents: meta-analysis. *The British Journal of Psychiatry*, 204(5), 335-340. <https://doi.org/10.1192/bjp.bp.113.131227>
- Araújo, A. X., Berger, W., Coutinho, E. S. F., Marques-Portella, C., Luz, M. P., Cabizuca, M., ... Mendlowicz, M. V. (2014). Comorbid depressive symptoms in treatment-seeking PTSD outpatients affect multiple domains of quality of life. *Comprehensive Psychiatry*, 55(1), 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2013.09.004>
- Arnsten, A. F. T. (2015). Stress weakens prefrontal networks: molecular insults to higher cognition. *Nature Neuroscience*, 18(10), 1376-1385. <https://doi.org/10.1038/nn.4087>
- Association, A. P. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub.
- Begić, D., Hotujac, L., & Jokić-Begić, N. (2001). Electroencephalographic comparison of veterans with combat-related post-traumatic stress disorder and healthy subjects. *International Journal of Psychophysiology*, 40(2), 167-172. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00153-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00153-7)
- Bisson, J., & Andrew, M. (2005). Psychological treatment of post-traumatic stress disorder (PTSD). *Cochrane database of systematic reviews*, (2).
- Botella, C., Serrano, B., Baños, R. M., & Garcia-Palacios, A. (2015). Virtual reality exposure-based therapy for the treatment of post-traumatic stress disorder: a review of its efficacy, the adequacy of the treatment protocol, and its acceptability. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 11, 2533-2545. <https://doi.org/10.2147/NDT.S89542>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25(1), 49-59. [https://doi.org/10.1016/0005-7916\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0005-7916(94)90063-9)
- Bremner, J. D., Randall, P., Scott, T. M., Bronen, R. A., Seibyl, J. P., Southwick, S. M., ... Innis, R. B. (1995). MRI-Based Measurement of Hippocampal Volume in Patients With Combat-Related Posttraumatic Stress Disorder. *The American journal of psychiatry*, 152(7), 973-981.
- Brown, V. M., LaBar, K. S., Haswell, C. C., Gold, A. L., Mid-Atlantic MIRECC Workgroup, Beall, undefined S. K., ... Morey, R. A. (2014). Altered Resting-State Functional Connectivity of Basolateral and Centromedial Amygdala Complexes in Posttraumatic Stress Disorder. *Neuropsychopharmacology*, 39(2), 361-369. <https://doi.org/10.1038/npp.2013.197>
- Canini, F., Trousselard, M., & Andruetan, Y. (2011). Mécanismes neurobiologiques des états de stress. *Médecine des Armées (Paris)*, 39(2), 129-132.
- Caulfield, M. D., & Myers, C. E. (2018). Post-traumatic stress symptoms are associated with better performance on a delayed match-to-position task. *PeerJ*, 6, e4701. <https://doi.org/10.7717/peerj.4701>

- Chauvelin, L., Gindt, M., Olliac, B., Robert, P., Thümmeler, S., & Askenazy, F. (2018). Emergency Organization of Child Psychiatric Care Following the Terrorist Attack on July 14, 2016, in Nice, France. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 1-3. <https://doi.org/10.1017/dmp.2018.51>
- Chemtob, C. M., Roitblat, H. L., Hamada, R. S., Muraoka, M. Y., Carlson, J. G., & Bauer, G. B. (1999). Compelled attention: The effects of viewing trauma-related stimuli on concurrent task performance in posttraumatic stress disorder. *Journal of Traumatic Stress*, 12(2), 309-326. <https://doi.org/10.1023/A:1024728626505>
- Chevret, S. (2003). Pourquoi et comment randomiser un essai thérapeutique ? *Revue des Maladies Respiratoires*, 20(5), 753-756.
- Cohen, J. A. (2003). Treating acute posttraumatic reactions in children and adolescents. *Biological Psychiatry*, 53(9), 827-833. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(02\)01868-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(02)01868-1)
- Cohen, J. E., Shalev, H., Admon, R., Hefetz, S., Gasho, C. J., Shachar, L. J., ... Friedman, A. (2013). Emotional brain rhythms and their impairment in post-traumatic patients. *Human Brain Mapping*, 34(6), 1344-1356. <https://doi.org/10.1002/hbm.21516>
- Critchley, H. D. (2002). Electrodermal responses: what happens in the brain. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 8(2), 132-142. <https://doi.org/10.1177/107385840200800209>
- Davidson, R. J., & Slagter, H. A. (2000). Probing emotion in the developing brain: Functional neuroimaging in the assessment of the neural substrates of emotion in normal and disordered children and adolescents. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 166-170. [https://doi.org/10.1002/1098-2779\(2000\)6:3<166::AID-MRDD3>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/1098-2779(2000)6:3<166::AID-MRDD3>3.0.CO;2-O)
- Dayan, P., & Daw, N. D. (2008). Decision theory, reinforcement learning, and the brain. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 8(4), 429-453. <https://doi.org/10.3758/CABN.8.4.429>
- Dayan, P., Niv, Y., Seymour, B., & Daw, N. D. (2006). The misbehavior of value and the discipline of the will. *Neural Networks*, 19(8), 1153-1160. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2006.03.002>
- De, M. B., Keshavan, M. S., Clark, D. B., Casey, B. J., Giedd, J. N., Boring, A. M., ... Ryan, N. D. (1999). A.E. Bennett Research Award. Developmental traumatology. Part II: Brain development. *Biological Psychiatry*, 45(10), 1271-1284. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(99\)00045-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(99)00045-1)
- Dégeilh, F., Viard, A., Dayan, J., Guénolé, F., Egler, P.-J., Baleyte, J.-M., ... Guillery-Girard, B. (2013). Altérations mnésiques dans l'état de stress post-traumatique : résultats comportementaux et neuro-imagerie. *Revue de neuropsychologie*, 5(1), 45-55. <https://doi.org/10.1684/nrp.2013.0252>
- Dolan, R. J., & Dayan, P. (2013). Goals and Habits in the Brain. *Neuron*, 80(2), 312-325. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.09.007>
- Engelmann, J. B., Maciuba, B., Vaughan, C., Paulus, M. P., & Dunlop, B. W. (2013). Posttraumatic stress disorder increases sensitivity to long term losses among patients with major depressive disorder. *PloS One*, 8(10), e78292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078292>

- Etkin, A., Prater, K. E., Schatzberg, A. F., Menon, V., & Greicius, M. D. (2009). Disrupted amygdalar subregion functional connectivity and evidence of a compensatory network in generalized anxiety disorder. *Archives of General Psychiatry*, 66(12), 1361-1372. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2009.104>
- Etkin, A., & Wager, T. D. (2007). Functional neuroimaging of anxiety: a meta-analysis of emotional processing in PTSD, social anxiety disorder, and specific phobia. *The American Journal of Psychiatry*, 164(10), 1476-1488. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2007.07030504>
- Gayral-Taminh, M., Matsuda, T., Bourdet-Loubère, S., Lauwers-Cances, V., Raynaud, J.-P., & Grandjean, H. (2005). Auto-évaluation de la qualité de vie d'enfants de 6 à 12 ans : construction et premières étapes de validation du KidIQol, outil générique présenté sur ordinateur. *Sante Publique*, Vol. 17(2), 167-177.
- Gonçalves, R., Pedrozo, A. L., Coutinho, E. S. F., Figueira, I., & Ventura, P. (2012). Efficacy of Virtual Reality Exposure Therapy in the Treatment of PTSD: A Systematic Review. *PLOS ONE*, 7(12), e48469. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048469>
- Greenbaum, P. E., Turner, C., Cook, E. W., & Melamed, B. G. (1990). Dentists' voice control: effects on children's disruptive and affective behavior. *Health Psychology: Official Journal of the Division of Health Psychology, American Psychological Association*, 9(5), 546-558.
- Greenwald, M. K., Cook, E. W., & Lang, P. J. (1989). Affective judgment and psychophysiological response: dimensional covariation in the evaluation of pictorial stimuli. *Journal of psychophysiology*, 3, 51-64.
- Gurvits, T. V., Shenton, M. E., Hokama, H., Ohta, H., Lasko, N. B., Gilbertson, M. W., ... Pitman, R. K. (1996). Magnetic resonance imaging study of hippocampal volume in chronic, combat-related posttraumatic stress disorder. *Biological Psychiatry*, 40(11), 1091-1099. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(96\)00229-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(96)00229-6)
- Heim, C., Newport, D. J., Heit, S., Graham, Y. P., Wilcox, M., Bonsall, R., ... Nemeroff, C. B. (2000). Pituitary-Adrenal and Autonomic Responses to Stress in Women After Sexual and Physical Abuse in Childhood. *JAMA*, 284(5), 592-597. <https://doi.org/10.1001/jama.284.5.592>
- Imperatori, C., Farina, B., Quintiliani, M. I., Onofri, A., Castelli Gattinara, P., Lepore, M., ... Della Marca, G. (2014). Aberrant EEG functional connectivity and EEG power spectra in resting state post-traumatic stress disorder: A sLORETA study. *Biological Psychology*, 102, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.07.011>
- Jovanovic, T., Norrholm, S. D., Blanding, N. Q., Davis, M., Duncan, E., Bradley, B., & Ressler, K. J. (2010). Impaired fear inhibition is a biomarker of PTSD but not depression. *Depression and Anxiety*, 27(3), 244-251. <https://doi.org/10.1002/da.20663>
- Kamkuimo Kengne, S. A., Fossaert, M., Girard, B., & Menelas, B.-A. J. (2018). Action-Centered Exposure Therapy (ACET): A New Approach to the Use of Virtual Reality to the Care of People with Post-Traumatic Stress Disorder. *Behavioral Sciences*, 8(8), 76. <https://doi.org/10.3390/bs8080076>

- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, *30*(3), 261-273.
- Mansdorf, I. J. (2008). Psychological interventions following terrorist attacks. *British Medical Bulletin*, *88*(1), 7-22. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldn041>
- McEwen, B. S., Bowles, N. P., Gray, J. D., Hill, M. N., Hunter, R. G., Karatsoreos, I. N., & Nasca, C. (2015). Mechanisms of stress in the brain. *Nature Neuroscience*, *18*(10), 1353-1363. <https://doi.org/10.1038/nn.4086>
- Milad, M. R., Pitman, R. K., Ellis, C. B., Gold, A. L., Shin, L. M., Lasko, N. B., ... Rauch, S. L. (2009). Neurobiological Basis of Failure to Recall Extinction Memory in Posttraumatic Stress Disorder. *Biological Psychiatry*, *66*(12), 1075-1082. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.06.026>
- Mitchell, J. (1997). Critical Incident Stress Debriefing (CISD). *Mitchell JT, Everly GS. Critical incident stress debriefing (CISD): an operations manual for the prevention of traumatic stress among emergency services and disaster workers, second ed. Ellicott City, MD, USA: Chevron Publishing Corporation; 1995/96.*
- Motraghi, T. E., Seim, R. W., Meyer, E. C., & Morissette, S. B. (2014). Virtual Reality Exposure Therapy for the Treatment of Posttraumatic Stress Disorder: A Methodological Review Using CONSORT Guidelines. *Journal of Clinical Psychology*, *70*(3), 197-208. <https://doi.org/10.1002/jclp.22051>
- Neria, Y., Nandi, A., & Galea, S. (2008). Post-traumatic stress disorder following disasters: a systematic review. *Psychological Medicine*, *38*(4), 467-480. <https://doi.org/10.1017/S0033291707001353>
- Olbrich, S., Jödicke, J., Sander, C., Himmerich, H., & Hegerl, U. (2011). ICA-based muscle artefact correction of EEG data: what is muscle and what is brain? Comment on McMenamin et al. *NeuroImage*, *54*(1), 1-3; discussion 4-9. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.04.256>
- Organisation mondiale de la santé, *Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement, 10e édition (cim-10)*, 1 vol., Paris, Masson, 1993.
- Ousdal, O. T., Huys, Q. J., Milde, A. M., Craven, A. R., Eriland, L., Endestad, T., ... Dolan, R. J. (2018). The impact of traumatic stress on Pavlovian biases. *Psychological Medicine*, *48*(2), 327-336. <https://doi.org/10.1017/S003329171700174X>
- Pacella, M. L., Hruska, B., & Delahanty, D. L. (2013). The physical health consequences of PTSD and PTSD symptoms: A meta-analytic review. *Journal of Anxiety Disorders*, *27*(1), 33-46. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2012.08.004>
- Paunovic, N., Lundh, L.-G., & Öst, L.-G. (2002). Attentional and memory bias for emotional information in crime victims with acute posttraumatic stress disorder (PTSD). *Journal of Anxiety Disorders*, *16*(6), 675-692. [https://doi.org/10.1016/S0887-6185\(02\)00136-6](https://doi.org/10.1016/S0887-6185(02)00136-6)
- Pfefferbaum, B., Sweeton, J. L., Newman, E., Varma, V., Nitiéma, P., Shaw, J. A., ... Noffsinger, M. A. (2014). Child disaster mental health interventions, part I: Techniques, outcomes, and methodological considerations. *Disaster Health*, *2*(1), 46-57. <https://doi.org/10.4161/dish.27534>

- Pine, D. S., & Cohen, J. A. (2002). Trauma in children and adolescents: risk and treatment of psychiatric sequelae. *Biological Psychiatry*, 51(7), 519-531. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(01\)01352-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(01)01352-X)
- Prieto, N., Cheucle, E., Faure, P., Digard, F., Dalphin, C., Pachiaudi, V., ... Gueugniaud, P.-Y. (2018). Defusing des victimes des attentats de Paris. Éléments d'évaluation un mois après. *L'Encéphale*, 44(2), 118-121. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2016.10.002>
- Roy, M. J., Costanzo, M. E., Blair, J. R., & Rizzo, A. A. (2014). Compelling Evidence that Exposure Therapy for PTSD Normalizes Brain Function. *Studies in Health Technology and Informatics*, 199, 61-65.
- Saigh, P. A., Mroueh, M., & Bremner, J. D. (1997). Scholastic impairments among traumatized adolescents. *Behaviour Research and Therapy*, 35(5), 429-436. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(96\)00111-8](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(96)00111-8)
- Sherlin, L., Muench, F., & Wyckoff, S. (2010). Respiratory Sinus Arrhythmia Feedback in a Stressed Population Exposed to a Brief Stressor Demonstrated by Quantitative EEG and sLORETA. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(3), 219-228. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9132-z>
- Sponheim, S. R., McGuire, K. A., Kang, S. S., Davenport, N. D., Aviyente, S., Bernat, E. M., & Lim, K. O. (2011). Evidence of disrupted functional connectivity in the brain after combat-related blast injury. *NeuroImage*, 54, S21-S29. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.09.007>
- Stamps, K., & Hamam, Y. (2010). Towards Inexpensive BCI Control for Wheelchair Navigation in the Enabled Environment – A Hardware Survey. In Y. Yao, R. Sun, T. Poggio, J. Liu, N. Zhong, & J. Huang (Éd.), *Brain Informatics* (p. 336-345). Springer Berlin Heidelberg.
- Tarrant, J., Viczko, J., & Cope, H. (2018). Virtual Reality for Anxiety Reduction Demonstrated by Quantitative EEG: A Pilot Study. *Frontiers in Psychology*, 9, 1280. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01280>
- Thomason, M. E., Marusak, H. A., Tocco, M. A., Vila, A. M., McGarragle, O., & Rosenberg, D. R. (2015). Altered amygdala connectivity in urban youth exposed to trauma. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(11), 1460-1468. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv030>
- Tong, J., & Zhu, D. (2015). Multi-phase cycle coding for SSVEP based brain-computer interfaces. *BioMedical Engineering OnLine*, 14(1), 5. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-14-5>
- Watts, B. V., Schnurr, P. P., Mayo, L., Young-Xu, Y., Weeks, W. B., & Friedman, M. J. (2013). Meta-analysis of the efficacy of treatments for posttraumatic stress disorder. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 74(6), e541-550. <https://doi.org/10.4088/JCP.12r08225>
- Watts, S., & Lacerte, S. (2011). L'efficacité de l'EMDR dans le traitement de victimes souffrant d'état de stress post-traumatique : Recension des écrits. *Journal international de victimologie*, 9.
- Zotev, V., Phillips, R., Misaki, M., Wong, C. K., Wurfel, B. E., Krueger, F., ... Bodurka, J. (2018). Real-time fMRI neurofeedback training of the amygdala activity with simultaneous EEG in veterans with combat-related PTSD. *NeuroImage. Clinical*, 19, 106-121. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.04.010>

## **Apports du protocole JeRev dans la régulation émotionnelle des enfants de 6 à 12 ans victimes d'épisode de stress post-traumatique**

### **Résumé**

Créé au lendemain de l'attentat de Nice du 14 juillet 2016, le protocole JeREV, réparti en trois séances, propose une prise en charge des enfants âgés de 6 à 12 ans souffrant de stress post-traumatique. Ce projet novateur met en avant le ressenti d'émotions positives et a pour objectif l'amélioration de la qualité de vie, sans exposition de l'enfant au traumatisme. Dans le cadre de notre étude, nous avons, d'une part, évalué l'efficacité de l'immersion multisensorielle proposée par le protocole sur la régulation émotionnelle par le biais de mesure en électroencéphalographie. Ces mêmes mesures nous ont également permis d'estimer l'impact du protocole sur l'hypoactivation préfrontale gauche, communément observée dans le cadre du stress post-traumatique. D'autre part, nous avons cherché à corrélérer les données EEG avec les autres mesures réalisées au sein du protocole ainsi qu'avec les données cliniques rapportées par le clinicien. Il apparaît ainsi que les enfants âgés de 7 ans tirent davantage profit de la stimulation multisensorielle en comparaison avec leurs aînés. Concernant l'asymétrie d'activation, il semblerait que JeREV ne permette pas une réduction de celle-ci. Pour finir, à travers notre étude de cas, nous avons mis en évidence que le protocole contribue à une amélioration du ressenti dans le domaine de la santé physique et psychique. Ces résultats préliminaires laissent à penser que l'augmentation de la taille de l'échantillon et de la durée de la stimulation confèreraient à JeREV une puissance statistique supérieure et des résultats probants concernant la prise en soin des enfants victimes de stress post-traumatique.

**Mots-clés :** traumatisme, comportement, thérapie, analyse d'un trouble et étude de cas, enfant, régulation émotionnelle, qualité de vie.

## **Abstract**

Created after the attack in Nice on July 14, 2016, the JeREV protocol, divided into three sessions, provides care for children aged 6 to 12 suffering from post-traumatic stress disorder. This innovative project highlights the feeling of positive emotions and aims to improve the quality of life, without exposing the child to trauma. As part of our study, we first assessed the effectiveness of the multisensory immersion proposed by the protocol on emotional regulation through measurement in electroencephalography. These same measures also allowed us to estimate the impact of the protocol on left prefrontal hypoactivation, commonly observed in the context of post-traumatic stress. Then, we sought to correlate the EEG data with other measurements performed within the protocol as well as clinical data reported by the clinician. It appears that 7-year-olds benefit more from multisensory stimulation than their elders. Regarding the asymmetry of activation, it seems that JeREV does not allow a reduction of it. Finally, through our case study, we have shown that the protocol contributes to an improvement of the feeling in the field of physical and mental health. These preliminary results suggest that increasing the sample size and duration of stimulation would give JeREV greater statistical power and convincing results in the care of children with post-traumatic stress disorder.

**Keywords :** trauma, behavior, therapy, analysis of a disorder and case study, child, emotional regulation, quality of life.