



HAL
open science

Évaluation de la prise en charge de la douleur par des dispositifs de Réalité Virtuelle

Nicolas Lemoine

► **To cite this version:**

Nicolas Lemoine. Évaluation de la prise en charge de la douleur par des dispositifs de Réalité Virtuelle. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03526633

HAL Id: dumas-03526633

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03526633v1>

Submitted on 14 Jan 2022

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.

N° d'ordre :

ANNÉE 2020



THÈSE D'EXERCICE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1
sous le sceau de l'Université Bretagne Loire

Thèse en vue du
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

présentée par

Nicolas LEMOINE

**ÉVALUATION DE LA
PRISE EN CHARGE DE
LA DOULEUR PAR DES
DISPOSITIFS DE
RÉALITÉ VIRTUELLE**

Thèse soutenue à Rennes
Le 19/10/2020

devant le jury composé de :

Lydie SPARFEL-BELIVET
Professeur Université Rennes 1 / Président

Olivier DELALANDE
Maître de conférences Université Rennes 1 / Directeur
de thèse

Claire LE MONS
Pharmacien Pharmacie Grand Quartier / *examineur*

François SAMSON
Pharmacien Pharmacie Pré Botté / *examineur*

Table des matières

À Mr DELALANDE Olivier qui a accepté de me guider à travers ce long travail de recherche et de synthèse et de m'apporter son expertise dans la rédaction et l'élaboration de cette thèse.....	5
I) Introduction :.....	7
II) Définitions, principe et mécanismes, applications de la Réalité Virtuelle :.....	11
1) Définition.....	11
2) Intérêt de la Réalité Virtuelle et principes fondamentaux :.....	12
3) Mécanisme de la douleur et théories sur le fonctionnement de l'antalgie par la Réalité Virtuelle :.....	15
4) Limites de la prise en charge par la Réalité Virtuelle.....	19
III) Études concernant l'utilisation de la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de la douleur lors de maladie ou d'affection aiguës :.....	24
1) Procédures de soin fréquentes et utilisation en anesthésiologie :	24
A) Population pédiatrique :.....	24
B) Population adulte :.....	28
2) Prise en charge des grands brûlés :.....	32
A) Population pédiatrique :.....	32
B) Population adulte :.....	46
3) Prise en charge de soins dentaires :.....	50
A) Population pédiatrique :.....	50
B) Population adulte :.....	54
IV) Études concernant l'utilisation de la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de la douleur lors d'une maladie ou d'une affection chronique :.....	65
1) Prise en charge de douleurs récidivantes:.....	65
A) Population pédiatrique et maux de têtes chroniques:.....	65
B) Population adulte et douleurs ostéo-articulaires chroniques :.....	68
2) Prise en charge des patients en oncologie :.....	71
A) Population pédiatrique :.....	71
B) Population adulte :.....	74
3) Prise en charge de douleurs d'origine nerveuse:.....	78
A) Prise en charge de douleurs dites « fantômes »:.....	78
B) Prise en charge de douleurs d'origine neuropathiques.....	83
V) Conclusion de la synthèse bibliographique :.....	85
VI) Analyse de l'étude de l'utilisation de la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de plaies suturales et de pose de sondes à la clinique St Joseph de Paris en collaboration avec « Healthy Mind »:.....	88
1) Présentation du projet :.....	88
2) Méthodologie de l'étude et matériel utilisé :.....	91
3) Résultats et interprétations :.....	95
VII) Analyse de l'utilisation de la Réalité Virtuelle en collaboration avec « HypnoVR » dans la prise en charge en clinique:.....	95
IX) Bibliographie	104

Listes des enseignants-chercheurs de la Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

PROFESSEURS		Pharmacien	HDR	Hospitalo-U
BOUSTIE	Joël	X	HDR	
DONNIO	Pierre Yves	X	HDR	X
FAILI	Ahmad		HDR	
FARDEL	Olivier	X	HDR	X
FELDEN	Brice	X	HDR	
GAMBAROTA	Giulio		HDR	
GOUGEON	Anne	X	HDR	
LAGENTE	Vincent	X	HDR	
LE CORRE	Pascal	X	HDR	X
LORANT (BOICHOT)	Elisabeth		HDR	
MOREL	Isabelle	X	HDR	X
PORÉE	François-Hugues	X	HDR	
SERGENT	Odile	X	HDR	
SPARFEL-BERLIVET	Lydie	X	HDR	
TOMASI	Sophie	X	HDR	
VAN DE WEGHE	Pierre		HDR	
VERNHET	Laurent	X	HDR	

PROFESSEURS ASSOCIES		Pharmacien	HDR	Hospitalo-U
BUREAU	Loïc	X		
DAVOUST	Noëlle	X		

PROFESSEURS EMERITES		Pharmacien	HDR	Hospitalo-U
CILLARD	Josiane	X	HDR	
GUILLOUZO	André		HDR	
URIAC	Philippe	X	HDR	

MAITRES DE CONFERENCES		Pharmacien	HDR	Hospitalo-U
ABASQ-PAOFI	Marie-Laurence			
ANINAT	Caroline	X	HDR	
AUGAGNEUR	Yoann		HDR	
BEGRICHE	Karima			
BOUSARGHIN	Latifa		HDR	
BRANDHONNEUR	Nolwenn			
BRUYERE	Arnaud	X		
BUNETEL	Laurence	X		
CHOLLET-KRUGLER	Marylène	X		
COLLIN	Xavier	X		
CORBEL	Jean-Charles	X	HDR	

DELALANDE	Olivier			
DELMAIL	David		HDR	
DION	Sarah	X		
DOLLO	Gilles	X	HDR	X
GICQUEL	Thomas	X		X
GILOT	David		HDR	
GOUAULT	Nicolas		HDR	
HITTI	Eric			
JEAN	Mickaël	X		
JOANNES	Audrey			
LECURIEUR	Valérie		HDR	
LE FERREC	Eric	X		
LE GALL-DAVID	Sandrine			
LE PABIC	Hélène			
LEGOUIN-GARGADENNEC	Béatrice			
LOHEZIC-LE DEVEHAT	Françoise	X	HDR	
MARTIN-CHOULY	Corinne		HDR	
NOURY	Fanny			
PINEL-MARIE	Marie-Laure			
PODECHARD	Normand			
POTIN	Sophie	X		X
RENAULT	Jacques	X	HDR	
ROUILLON	Astrid			

ASSISTANT HOSPITALO-UNIVERSITAIRE (AHU)

		Pharmacien	HDR	Hospitalo-U
AUTIER	Brice	X		X
BACLE	Astrid	X		X
BOUVRY	Christelle	X		X
MENARD	Guillaume	X		X

ATER

		Pharmacien	HDR	Hospitalo-U
KOWOUVI	Koffi	X		

LRU

		Pharmacien	HDR	Hospitalo-U
AFONSO	Damien			
BELLAMRI	Nessrine	X		
GUILLORY	Xavier			

REMERCIEMENTS

À Mr DELALANDE Olivier qui a accepté de me guider à travers ce long travail de recherche et de synthèse et de m'apporter son expertise dans la rédaction et l'élaboration de cette thèse.

À Mme SPARFEL-BELIVET Lydie qui a accepté de présider ce jury ainsi que pour tout l'enseignement apporté lors de ces années de faculté.

À Mme LE MONS Claire pour sa sympathie et sa bienveillance lors de notre expérience professionnelle commune ainsi que pour avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse.

À Mr SAMSON François, pour avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse mais également pour cette amitié réciproque et ces moments partagés depuis plusieurs années.

Remerciements également à tous ceux et celles qui sont intervenus lors de mon parcours professionnel et qui ont contribué à former le pharmacien que je suis devenu :

- Mme CONAN, Mr MORVAN et toutes les préparatrices pour avoir accepté de débiter ma formation dans votre officine ainsi que pour votre gentillesse.
- Mr ROBINE, Mr LAUDRIN, les pharmaciennes assistantes, préparatrices, esthéticienne et rayonnistes pour avoir poursuivi cette formation, l'avoir consolidée et pour votre bienveillance à mon égard.
- Mme ROBERT-KERHOAS, Mr MULLER et leurs préparatrices de m'avoir accordé votre confiance et de m'avoir si gentiment accueilli.

À mes parents de m'avoir permis de réaliser ces longues études et de m'avoir soutenu dans certains moments difficiles. Je ne vous remercierai jamais assez d'avoir été et d'être toujours présents lors de mes différents projets, bonheurs, chagrins et ceux depuis ma naissance et malgré certains aléas de la vie. Je vous aime.

À mon frère et ma sœur que j'aime et avec lesquels j'ai eu le bonheur de grandir. Je suis très fier d'être votre grand frère.

À Dorine, l'amour de ma vie, de m'avoir encouragé et parfois supporté lors de ces études. Merci de remplir ma vie de bonheur au quotidien et pour tout cet amour que nous partageons. J'ai si hâte de partager tant de nouvelles choses avec toi. Je t'aime.

À mon fils Sacha, qui m'a apporté en si peu de temps tellement d'amour et que j'aime si fort.
Une pensée également à son/sa/ses futur(e)(s) frère(s) et sœur(s) dont il me tarde de faire la connaissance.
Sachez que je vous aime déjà aussi.

À toutes les personnes rencontrées lors de mes études, Lucie, François, Pauline, Tristan, Ysaline, Thomas, Gabriel, Vincent, Emmanuel, Camille, avec lesquelles j'ai pu partager tant de moments et qui resteront de véritables amis.

I) Introduction :

La Réalité Virtuelle est une technologie en pleine expansion dans une société dont les rouages sont orchestrés par le numérique, et pourrait devenir l'un de ses éléments essentiels. Ses applications dans le domaine de la santé semblent infinies et il est vraisemblable que nous n'en sommes encore qu'aux prémices des possibilités que cette technologie puisse nous offrir.

À ce jour, la méthode de réduction de la douleur la plus utilisée est l'allopathie ou médecine traditionnelle. Elle consiste en la prise de médicaments antalgiques dont existe plusieurs catégories :

- Les antalgiques de palier 1 composé du paracétamol, de l'acide acétylsalicylique ou de l'ibuprofène. Ils sont couramment utilisés en France et disponible sans ordonnance à des doses exonérées dans les officines françaises. Ils constituent près de 80% de la consommation d'antalgiques dans la population française.
- Les antalgiques de palier 2 composé de la codéine, du tramadol ou de l'opium. Ils sont beaucoup moins consommés car soumis à prescription médicale.
- Les antalgiques de palier 3 composé de l'oxycodone ou du sulfate de morphine dont la prescription et la délivrance sont extrêmement réglementées.
- Les formes locales telles que les crèmes, patchs ou gels composées de lidocaïne, de prilocaïne ou d'association des deux molécules.

Leur utilisation provoque souvent de nombreux effets indésirables tels que nausées, vomissements, sédation, constipation et risque d'accoutumance. Ils peuvent également être à l'origine de nombreuses interactions médicamenteuses car ils peuvent rentrer en compétition sur certains récepteurs avec d'autres molécules actives.

Certaines équipes de Recherche se sont alors intéressées à la Réalité Virtuelle afin d'offrir aux patients une meilleure qualité de prise en charge des douleurs induites par les diverses procédures de soins constituant le parcours médical de ces patients.

Il existe à ce jour d'autres méthodes de réduction de la douleur non pharmacologique telles que :

- la sophrologie définie comme un ensemble de techniques (respiration, exercice de décontraction musculaire et l'imagerie mentale) agissant sur le corps et sur le mental

- l'hypnose définie comme à la fois un état de conscience et l'ensemble des techniques utilisées pour parvenir à cet état de conscience
- l'acupuncture consistant en l'introduction d'aiguilles en des points précis du corps, des tissus ou des organes.
- Etc...

Leurs effets sur la réduction de la douleur ont été étudiés lors de nombreux tests rapportant la preuve qu'elles pouvaient aider à réduire la douleur mais de façon insuffisante, obligeant au recours d'antalgiques ou d'analgésiques à doses importantes. La capacité d'immersion de ces techniques reste limitée et leurs effets peuvent être variable en fonction de la réceptivité du patient et de ses croyances.

L'utilisation de ces médicaments antalgiques et particulièrement des médicaments opioïdes est en augmentation en France depuis une dizaine d'années. En effet, d'après les données de l'ANSM, près de 10 millions de français ont eu une prescription d'antalgique opioïde en 2015 et , entre 2006 et 2017, la prescription d'opioïdes forts a augmenté d'environ 150 %.

Cette augmentation est due à une augmentation des prescriptions médicales mais également à des mésusages ou des auto-médications abusives. Cette utilisation à outrance est à l'origine d'intoxications graves et de décès liés à ce type de médicaments.

Quelles sont, à ce jour, les problématiques de la prise en charge de la douleur des patients par l'allopathie et les méthodes alternatives ?

- L'efficacité décroissante et le phénomène de tolérance aux molécules actives : **la RV a t elle une efficacité suffisante pour réduire le ressenti douloureux du patient et son effet décroît il avec le temps ?**
- Les effets indésirables des médicaments antalgiques : **la RV induit elle moins d'effets indésirables que la prise de médicaments ou que les méthodes alternatives ?**
- Le mésusage et l'auto-médication abusive, réel problème de santé publique en France, parfois à l'origine de dépendance : **Y a t il des risques à l'utilisation de la RV ? Et si oui, quels sont ils sur le corps et l'esprit ?**
- Les molécules actives sont une source de dépense très importante. Selon l'INSEE, la consommation de soins et de biens médicaux a été évaluée en 2017 à 199,3 milliards

d'euros, soit 2977 € par habitant. Elle représente 8,7 % du PIB français : **la RV est elle une alternative économiquement viable pour les hôpitaux et les cliniques ?**

- Les méthodes alternatives sont parfois soumises à controverses selon les croyances du patient. **La RV a t elle une efficacité similaire en fonction de l'âge, du sexe ou des convictions religieuses ?**

Dans un premier temps, nous présenterons une partie bibliographique afin d'établir un état des lieux des connaissances sur la Réalité Virtuelle et des différentes études réalisées à ce jour.

Nous développerons et présenterons une partie des possibilités que nous offre la Réalité Virtuelle et apprécierons ses caractéristiques mais également ses limites dans la prise en charge de différentes douleurs.

Nous définirons les termes employés dans ce document comme la douleur, son fonctionnement, la différence entre Réalité Virtuelle et réalité augmentée puis nous présenterons les possibilités de la Réalité Virtuelle ainsi que ses limites dans le milieu médical et dans diverses prises en charge de soins quotidiens.

Nous présenterons ensuite différentes études publiées quant à la prise en charge de douleurs aiguës avec notamment les douleurs induites par les procédures de soins courantes telles que les prises de sang et d'autres examens bénins ainsi que les études publiées en anesthésiologie. Nous compléterons avec une prise en charge plus spécifiques de douleurs induites par les brûlures chez les grands brûlés et nous finirons par la prise en charge de soins dentaires.

Pour approfondir notre étude, nous poursuivrons avec les douleurs dites « chroniques » telles que celle retrouvées dans les douleurs ostéo-articulaires qui sont un réel problème de santé publique.

Pour terminer ces études de cas, nous présenterons des études de douleur d'origine nerveuse, telles que celles des membres « fantômes », douleurs difficilement expliquées par le corps médical, pour lesquelles la Réalité Virtuelle pourrait être une alternative.

Chaque partie sera traitée à l'aide d'études pédiatriques et d'études sur une population adulte.

Nous présenterons deux études de cas. Une première concernant le groupe HealthyMind® et leur dispositif de RV dans la pose de sondes et la réfection de plaie suturale. Nous étudierons dans un second temps à l'aide de questionnaires distribués dans une clinique du groupe Vivalto Santé de Morlaix, un dispositif déployé ayant pour but la prise en charge de patients en post-opératoire

développé par HypnoVR.

Enfin pour conclure, nous analyserons un sondage que nous avons réalisé et recueilli dans la population générale par le biais des réseaux sociaux afin d'observer les perspectives de la prise en charge par des techniques de Réalité Virtuelle de patients dans les années à venir et l'avis de la population à ce sujet.

II) Définitions, principe et mécanismes, applications de la Réalité Virtuelle :

1) Définition

Selon l'Association internationale de la douleur, la douleur est une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable associée à des lésions tissulaires réelles ou potentielles.

Il en existe deux formes uniques: la douleur aiguë et la douleur chronique.

La douleur peut être induite par diverses maladies physiques et psychologiques, ainsi que par divers traumatismes physiques ou psychologiques infligés aux individus.

La Réalité Virtuelle (RV) est une technologie permettant soit de créer un environnement en trois dimensions imaginé par ses développeurs, soit de reproduire le monde réel dans lequel se verra plongé le patient. Elle permet une stimulation visuelle, auditive et parfois haptique (sensation tactile).

Cette immersion peut se faire grâce à des dispositifs informatiques tels que des casques de Réalité Virtuelle reliés à des ordinateurs de haute technologie (**illustration 1**) ou par des casques autonomes (**illustration 2**) dans lesquels s'insèrent des smartphones. Cette technologie se développe également dans des salles de réalité virtuelle (**illustration 3**).



Illustration 1 : Exemple de casque de Réalité Virtuelle de haute immersion



Illustration 2: Exemple de casque de Réalité Virtuelle de moyenne immersion (smartphone)

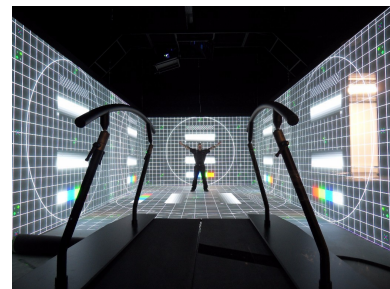


Illustration 3 : Exemple de salle immersive en Réalité Virtuelle

La Réalité Virtuelle est à différencier de la Réalité Augmentée (RA) qui est une technologie consistant à ajouter des informations virtuelles dans le monde réel à travers l'objectif de smartphones ou de lunettes adaptées.

Afin d'étudier et de mieux comparer les différentes études parues sur le sujet, nous définirons trois niveaux d'immersion obtenus à l'aide de ces dispositifs de réalité virtuelle :

- une expérience faiblement immersive sera définie par l'utilisation de matériel n'incluant aucun dispositif adapté à être porté sur la tête du patient comme certains écrans ou tablettes. Cela exclut les salles immersives qui immergent le patient à 360° dans le monde généré.
- une étude moyennement immersive sera définie par l'utilisation de dispositifs adaptables à la tête du patient non relié à un système informatique comme les lunettes pour smartphones, justifié par la limite de résolution qu'offrent les smartphones actuels.
- une étude hautement immersive sera définie par l'utilisation de dispositifs adaptables à la tête du patient et reliés à un système informatique performant permettant une résolution d'affichage importante et le développement de logiciels adaptés permettant l'implication du patient dans le logiciel. Cela inclus les dispositifs à très grands écrans et les salles immersives.

La notion d'immersion est à distinguer de la présence physique. La présence physique se définit comme une mesure subjective du patient de se sentir dans le monde virtuel. Elle est différente de l'immersion qui est une mesure objective mesurable par la trigonométrie et des calculs d'angles.

A l'heure actuelle, des études démontrent l'efficacité de la Réalité Virtuelle dans le traitement des états douloureux chroniques et aigus. Ces études sont la porte ouverte à de nombreuses avancées scientifiques et médicales dans de nombreux groupes aussi divers que le personnel militaire, les équipes d'exploration spatiale, le domaine sportif, la population active en général et la population de personnes âgées qui est en augmentation constante.

Elle aurait également un intérêt dans des domaines sensibles tels que la prise en charge des toxicomanes, les traitements lourds à domicile, etc..

2) Intérêt de la Réalité Virtuelle et principes fondamentaux :

La Réalité Virtuelle peut être appliquée au développement de méthodes non pharmacologiques de diminution du ressenti douloureux. Cette méthode de prise en charge est très étudiée car elle constitue une alternative aux médicaments sédatifs et aux antalgiques médicamenteux à l'origine de nombreux effets indésirables et à de

nombreuses interactions et/ou contre-indications.

L'intérêt de la Réalité Virtuelle réside dans sa capacité immersive. En effet elle permet au patient d'être transféré dans un monde virtuel et de couper toute communication avec le monde réel. Ainsi elle permet de diminuer le ressenti de la douleur car la capacité d'attention totale du patient semble limitée.

Ainsi, immergé dans le monde virtuel, le patient aurait moins d'attention à accorder au ressenti de la douleur et à ses signaux entrants de douleurs.

Cette immersion permettrait alors aux professionnels de santé d'effectuer divers soins sur des patients plus conciliants et dont le confort de prise en charge serait alors meilleur.

La communication avec le monde extérieur et les facteurs environnementaux tel que le bruit auraient donc probablement un impact sur l'immersion dans le logiciel de RV.

Étude sur l'importance de la méthode et de l'environnement de distraction du patient:

Pour confirmer cette hypothèse, Zeroth, Dahlquist et Foxen Craft se sont demandés s'il existait une différence de perception de la douleur entre une méthode de distraction par un jeu vidéo classique non immersif et une méthode de distraction immersive basée sur la Réalité Virtuelle dans leur étude intitulée « **The effects of auditory background noise and virtual reality technology on video game distraction analgesia** » (1).

Le but de leur étude était de comparer ces deux méthodes de distraction distinctes : une méthode basé sur un jeu vidéo en Réalité Virtuelle avec une méthode non immersive basée sur un jeu vidéo classique et de déterminer s'il existe une différence entre ces deux modes de distraction et notamment si le contexte environnemental influait sur la perception de la douleur due au froid sur des individus en bonne santé.

Pour cela, 164 étudiants ont été divisés en plusieurs groupes en fonction de leur sexe et de leur expérience du jeu vidéo. Certains ont été affiliés à un environnement bruyant et d'autres à un environnement calme. Néanmoins, le niveau en décibel de l'intensité du bruit de fond n'est pas indiqué dans cette étude.

Ils ont ensuite subi des stimuli douloureux basés sur les thermorécepteurs au froid lors de trois conditions expérimentales différentes dont l'ordre a été randomisé selon ces trois conditions: sans aucune méthode de distraction, distraction classique type jeux vidéo/télévision et distraction avec RV.

Dans cette étude la méthode statistique utilisée est une analyse de variance ou ANOVA (**voir annexe statistiques**).

Les résultats de cette étude ont démontré une amélioration de la tolérance à la douleur entre la situation de contrôle avec les deux méthodes de distraction ($p < 0,001$, $\eta^2 = 0,41$), et une amélioration de la tolérance à la douleur supérieure lors de la RV par rapport au jeu vidéo seul ($p = 0,057$, $\eta^2 = 0,02$). De plus la tolérance à la douleur serait augmentée dans des conditions environnementales calmes ($p = 0,047$, $\eta^2 = 0,02$) par rapport à des environnements bruyants et/ou dérangeants.

Ces résultats suggèrent l'importance d'une immersion de grande qualité dans les dispositifs de RV et l'importance de l'étude des logiciels associés à ces dispositifs pour permettre aux patients avec des caractéristiques particulières de profiter pleinement de cette technologie.

Étude sur l'importance de la qualité de l'immersion en Réalité Virtuelle :

Comme définie en première partie, l'immersion est une caractéristique importante et potentiellement objectivement mesurable (calcul du «champ de vision» ou la quantité de vision périphérique stimulée par les écrans d'un casque de réalité virtuelle, conditions environnementales) et directement en lien avec la capacité de réduction de l'analgésie comme le démontre l'étude précédente.

Pour démontrer l'importance de l'immersion dans le monde virtuel, une étude de laboratoire a été réalisée avec des casques de Réalité Virtuelle différents distribués à trois groupes de patients volontaires sains.

Ces groupes ont alors reçu des casques de RV de manière randomisée. L'un des groupes a reçu des casques de faible technologie (diagonale du champ de vision non précisée) ($n = 28$), un groupe des

casques de RV de haute technologie (diagonale du champ de vision de 60°) (n= 26) et le dernier était un groupe contrôle sans casque de RV (n= 23). Pour éviter les biais, l'étude a été réalisée en double aveugle, c'est à dire que ni les sujets, ni l'assistant de recherche collectant les résultats ne connaissaient la qualité du casque de Réalité Virtuelle.

Selon les résultats obtenus, le groupe avec les casques de haute technologie de Réalité Virtuelle a ressenti une réduction de 34% des douleurs les plus importantes, une réduction de 46% du désagrément douloureux, une réduction de 29% du temps passé à réfléchir à la douleur par rapport au groupe contrôle.

Néanmoins aucune analyse statistique n'a été effectuée sur les résultats de cette étude ce qui ne permet pas d'apprécier la pertinence scientifique de ces résultats.

Ces résultats suggèrent donc l'importance de l'immersion et de sa qualité sur la capacité à réduire la perception de la douleur mais ne permettent pas de valider cette hypothèse de manière rigoureuse.

3) Mécanisme de la douleur et théories sur le fonctionnement de l'antalgie par la Réalité Virtuelle :

Le mécanisme exact de réduction de la douleur par la Réalité Virtuelle reste encore inconnu et est étudié par de nombreux chercheurs à travers le monde. Chaque équipe émet ainsi sa propre théorie sur le principe de fonctionnement de l'analgésie par la Réalité Virtuelle.

Il existe différentes interprétations de ce fonctionnement mais deux principales ont été publiées : l'approche pharmacologique et l'approche non pharmacologique.

Approche non pharmacologique du mécanisme de fonctionnement de réduction de la douleur par la Réalité Virtuelle :

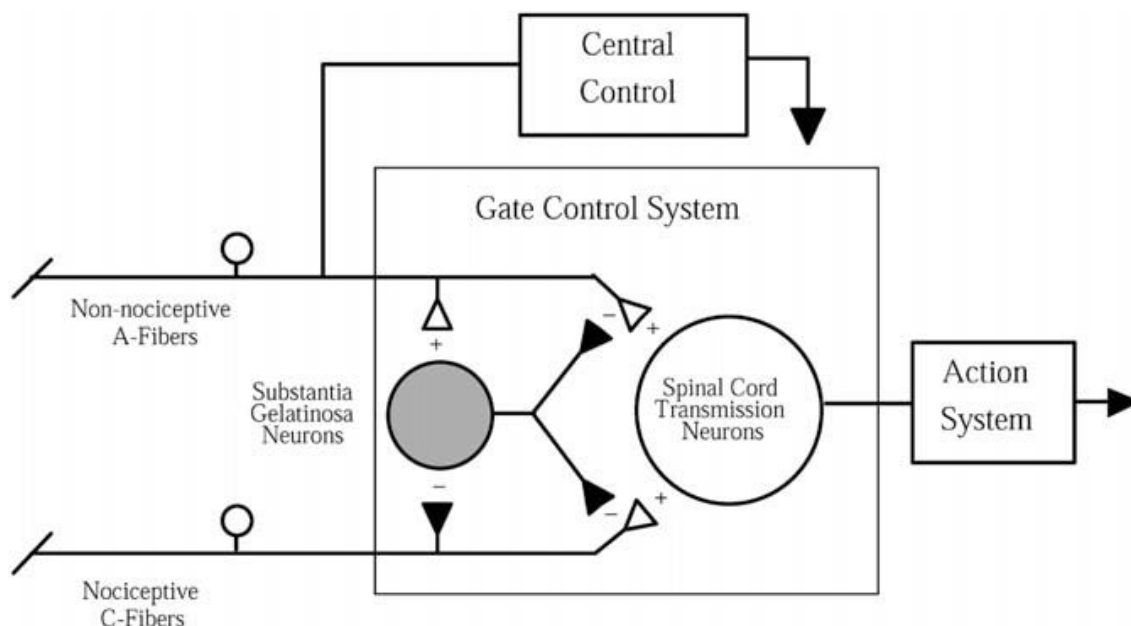


Illustration 4: Schéma explicatifs de mécanismes de contrôle des portes d'après Melzack et Wall

Selon **Melzack et Wall (2)**, les mécanismes de la douleur fonctionnerait selon la théorie du contrôle de porte (gate control theory) (**illustration 4**). Celle-ci est partie de l'observation que lorsqu'un individu se heurte la tête sur un quelconque obstacle, un réflexe se met alors en place. Il se protège alors la zone douloureuse avec la main et se masse cette même zone. Cela permet tout d'abord de protéger la plaie d'une nouvelle agression mais le massage induit également une diminution de la sensation douloureuse pour l'individu.

Nous savons depuis longtemps que la douleur est un signal encodé transmis par les neurones afférents au cerveau suite à un stimulus de récepteurs appelés récepteurs nociceptifs.

Cette réponse est traitée dans la corne dorsale, partie postérieure de la substance grise de la moelle épinière. Dans cette zone est traitée également une multitude de stimuli afférents comme ceux des récepteurs tactiles (mécanorécepteurs), les thermorécepteurs, etc..

Le diamètre des axones synapses est variable et parfois muni d'une gaine de myéline permettant l'augmentation de la vitesse de la conduction nerveuse. Ces caractéristiques permettent aux influx provenant de ces synapses d'avoir une vitesse de conduction beaucoup plus rapide que ceux provenant des nocicepteurs.

Leur rapidité leur permet alors d'être traité prioritairement aux stimuli douloureux. Cela induit un engorgement au niveau de cette corne postérieure dans le traitement de tous ces influx afférents et l'on parle alors de « fermeture de portillon » aux stimuli douloureux.

Ainsi, la douleur ressentie par l'individu lui paraît moins intense car le système nerveux central est affairé à traiter un surplus d'informations.

McCaul et Malott (3) ont confirmé cette théorie en ajoutant que nous avons une capacité d'attention limitée. Cela suggère que si l'individu est attentif à d'autres stimuli éloignés des stimuli nocifs, comme ceux induit par les dispositifs de RV, il percevra le stimulus douloureux comme moins intense.

Wickens (4) complète la théorie de Melzack et Wall avec la théorie des ressources multiples, selon laquelle les ressources de différents systèmes sensoriels fonctionnent de manière indépendante c'est à dire que l'image, le son, le toucher sont traités de manière indépendantes par le cerveau et accaparent donc indépendamment notre attention. Cela renforce la pertinence de la technologie de la réalité virtuelle, qui repose sur l'intégration de distractions multisensorielles.

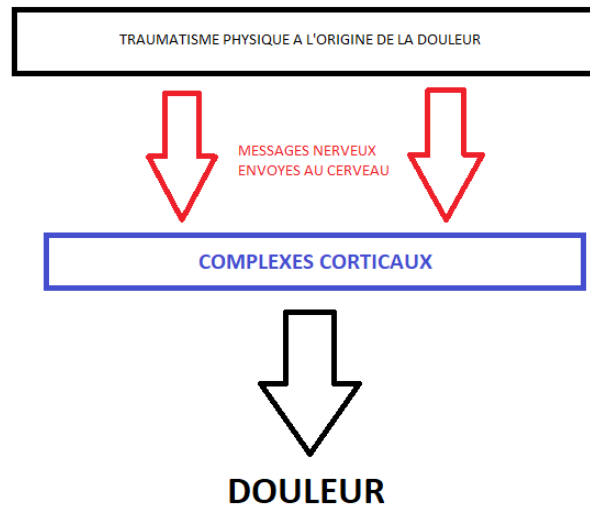
C'est sur ce constat que se base l'approche non pharmacologique du traitement de la douleur par la Réalité Virtuelle. Les stimulations multisensorielles qu'offrent les dispositifs de Réalité Virtuelle envoient au cerveau une multitude d'information dans un même temps ce qui conduirait à une réduction du ressenti douloureux.

D'autres théories comme celle avancée par **Gold (5)** affirment que l'analgésie par la réalité virtuelle serait induite par la modification des signaux envoyés au cerveau par les voies de signalisation de la douleur. Ainsi des facteurs comme l'attention portée au monde virtuel et au monde extérieur, les émotions, la mémoire et les autres sens (le toucher, l'ouïe et la vue), produiraient ainsi une analgésie. Toutes ces stimulations induiraient la production de molécules par les complexes corticaux. Cela suggère que la stimulation multi-sensorielle du logiciel de Réalité Virtuelle entraîne une libération de substances antalgiques par certaines régions du cerveau : ces mécanismes constitueraient l'approche pharmacologique.

Ses recherches supposent donc que la RV agit comme une forme d'analgésie pharmacologique en induisant une série de processus affectifs et cognitifs, basés sur les émotions et l'attention, sur le

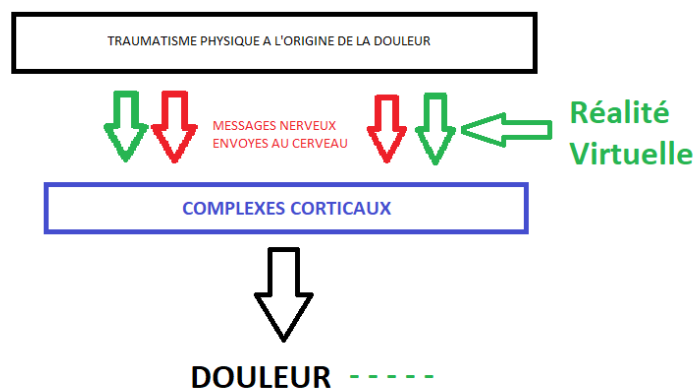
système de modulation complexe de la douleur de notre corps. Cela suggère que des facteurs tels que le niveau de résistance à la douleur, l'émotion associée à la douleur et l'expérience passée de la douleur jouent tous un rôle dans l'interprétation de cette douleur.

Rappel du mécanisme de transmission de l'influx nerveux à l'origine de la douleur :



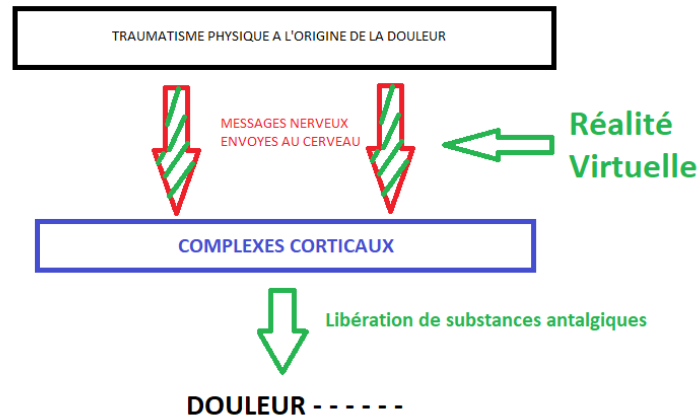
Le traumatisme physique à l'origine de la douleur induit ici par stimulation des nocicepteurs des influx nerveux transmis aux complexes corticaux. Ces messages sont perçus par le cerveau et sont à l'origine du ressenti de la douleur.

Schéma récapitulatif de l'approche non pharmacologique :



Selon cette approche, la stimulation multi-sensorielle procurée par les dispositifs de Réalité Virtuelle induit de nombreux messages nerveux. Les complexes corticaux sont surchargés en informations et la douleur est alors perçue plus faiblement.

Schéma récapitulatif selon l'approche pharmacologique :



Selon cette approche, le monde virtuel dans lequel le patient se trouve en immersion permettrait des modifications des signaux de douleur. Cela induirait une libération de substances antalgiques par les complexes corticaux à l'origine de la diminution du ressenti de la douleur.

4) Limites de la prise en charge par la Réalité Virtuelle

Bien que la Réalité Virtuelle semble offrir de nombreuses perspectives d'avenir dans la prise en charge de patients, certaines de ses caractéristiques imposent certaines limites aux chercheurs et professionnels de santé.

Actuellement, certaines phobies telles que le vertige ou la claustrophobie peuvent être soignées dans le monde réel par des thérapies d'exposition virtuelle. Ce sont donc des dispositifs à manier avec prudence car ils pourraient également provoquer des lésions psychologiques/physiques irréversibles. Le danger ici est le fait que l'on puisse modifier le ressenti psychologique et physique d'un individu doit être utilisé prudemment car nous pourrions créer des douleurs ou des lésions non souhaitées en cas de mauvaise utilisation du dispositif.

Ces dispositifs déploient des environnements virtuels très immersifs, nos interventions pourraient avoir des effets graves sur notre corps ou notre esprit, entraînant des déséquilibres psychologiques avec apparition de troubles neuro-sensoriels graves.

En effet, le pouvoir de l'esprit sur le corps semble encore insoupçonné par les études actuelles.

Avec l'avancé exponentielle de la science et des technologies informatiques, la qualité des

graphismes et l'immersion en leur sein augmentent de manière considérable les effets de ces dispositifs et certains environnements virtuels tendant à se confondre avec la réalité.

Pour illustrer cela, prenons l'exemple des douleurs dites « fantômes » fréquemment retrouvées chez les patients amputés. Une douleur apparaît alors à l'endroit où le membre se trouvait auparavant et le cerveau parvient alors à convaincre les autres membres et autres sens que cette douleur est bien réelle.

Ces douleurs « fantômes » suggèrent donc que le cerveau peut de lui-même produire un signal douloureux sans stimuli extérieurs. La Réalité Virtuelle est à manipuler avec précaution car elle génère des environnements virtuels immersifs hautement réalistes pouvant tromper le cerveau et un événement se produisant dans un logiciel de Réalité Virtuelle pourrait alors avoir des conséquences sur l'interprétation du cerveau dans le monde réel.

Nous venons de souligner l'importance de l'immersion du patient dans le logiciel de Réalité Virtuelle et son isolement du monde extérieur afin d'exploiter pleinement les possibilités de la RV. Cela suggère que des stimuli extérieurs trop importants altéreraient cette immersion dans le monde virtuel et ne permettrait pas aux patients d'être pleinement attentif aux mondes virtuels. On peut donc supposer que des stimuli douloureux trop importants ne pourraient pas être ignorés par le système nerveux et diminuerait grandement la puissance de ces dispositifs de réalité virtuelle.

Étude sur l'éventuelle altération de l'immersion des patients dans les mondes virtuels par des stimuli extérieurs:

C'est ce qu'on voulu démontrer Wölfel et Schubert dans leur publication intitulée « **Effects of Electrical Pain Stimuli on Immersion in Virtual Reality** » (5) .

Le principe de la Réalité Virtuelle est de créer un monde artificiel simulé autour de nous qui est le plus possible indiscernable du monde physique que nous connaissons dans lequel le patient se voit transporté sur une période donnée et contrôlée.

La douleur est un signal biologiquement pertinent et vital de menace physique pour l'intégrité du corps. Elle permet d'induire des réactions protectrices immédiates (réflexes), notamment une augmentation de l'excitation, une attention sélective et une tentative d'évasion, suivies par des

comportements d'évitement récupérateur et de recherche de sécurité.

La douleur et la peur de cette douleur nous mènent à des actions qui nous empêchent de faire des choses qui pourraient potentiellement nous nuire. Cette notion est très importante car une fois en immersion dans le logiciel de Réalité Virtuelle, la difficulté est d'obtenir un compromis entre un monde virtuel hautement réaliste afin de favoriser l'immersion tout en la maîtrisant pour ne pas provoquer de séquelles via l'interprétation du cerveau.

L'objectif de cette publication était d'étudier l'influence des stimuli de la douleur sur l'immersion des patients dans un logiciel de Réalité Virtuelle.

Les deux principaux objectifs étaient de voir si cette immersion n'était pas altérée face à des stimuli douloureux très intenses et si ces douleurs étaient réversibles.

Ils ont également cherché à savoir si les patients étaient capables d'effectuer dans le logiciel de RV des actions irrationnelles dans le monde réel et de surpasser cette appréhension de la douleur.

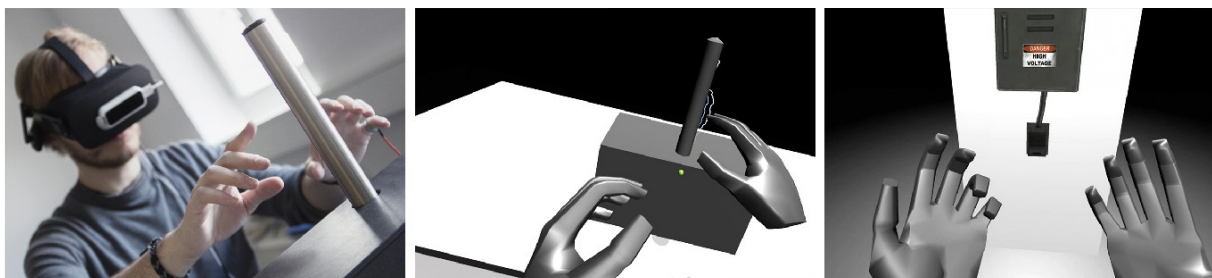


Fig. 1. to touch or not to touch that is the question — scenarios S1 (left and center) and S2 (right) as seen by the participants
Illustration 5: Illustration tirée de l'expérience effectuée par Wölfel et Schubert (6)

Au total, un groupe de 42 personnes constitué de 25 hommes et de 17 femmes ont pris part à l'étude. Leur âge moyen était de 25 ans avec un écart type de 3 ans. Deux groupes ont donc été formés, un groupe contrôle avec une tige non parcourue de courant et un groupe avec une tige dans laquelle passait un faible courant (**illustration 5**). Le premier scénario présenté aux participants était le suivant : il consistait en la prise en main de cette tige, la tige étant légèrement électrisifiée ou non en fonction du groupe dans lequel se trouvait le participant.

Un second scénario, basé sur la reproduction d'une prise de courant, a été mis en place. Le test se basait sur la prise de décision du patient à toucher ou non cette prise de courant potentiellement électrisifiée. Par précaution et par non connaissance de potentielles lésions irréversibles dont nous parlions précédemment, le test s'arrêtait au moment où le patient prenait la décision de toucher ou

non cette prise de courant murale .

L'étude a été effectuée de manière à ce que les participants ne sachent pas à quel groupe ils appartenaient pour ne pas influencer les résultats (étude en simple aveugle).

Les résultats ont montré que sur les 42 participants, 18 participants du groupe expérimental ont touché le bâton avec un signal électrique, 17 participants du groupe témoin ont touché le bâton sans signal électrique et 7 n'ont pas touchés le bâton par crainte du potentiel courant.

Un questionnaire basé sur l'intensité de la douleur, de l'immersion et de leur prise de décision leur a été distribué.

En observant les résultats de l'étude, il s'avère évident que la délivrance ou non du signal électrique a une influence sur l'immersion du patient. Avec un signal électrique absent (groupe B), l'immersion n'est pas assez importante et ne produit donc aucune distraction de l'esprit et de l'attention du patient. En revanche, si le signal est intense (groupe A), le patient prend alors conscience de sa douleur et réagit nettement moins à l'environnement virtuel.

De plus, le groupe sans courant électrique est devenu beaucoup plus enclin à toucher de nouveau la tige après avoir observé que le signal électrique leur paraissait nul/faible contrairement au groupe avec courant électrique dont le signal électrique était ressenti comme réel.

Le ressenti de la douleur était tout de même plus important dans le groupe ayant reçu le signal électrique par rapport au groupe ne l'ayant pas reçu. Il n'est en revanche dans ce dernier cas pas absent car la tige leur semblait parcourue de courant dans le monde virtuel.

Lors du second scénario, plusieurs participants n'ont pas souhaité toucher la prise de courant par appréhension de la douleur liée au stimulus électrique. Le caractère virtuel ne lève donc pas l'inhibition chez certaines personnes, ce qui confirme la complexe différenciation entre la virtualité et le monde réel.

Il est important de noter que suite à l'expérience, aucun des participants n'a ressenti de désorientation ou de douleurs suite au potentiel signal électrique.

Ces résultats évaluent donc la notion de dommages potentiels liés à la Réalité Virtuelle et à la prise de décision modifiée ou non par le caractère réaliste de l'expérience. Ils introduisent également la notion de seuil de douleur corrélée avec la qualité d'immersion.

Les dispositifs de Réalité Virtuelle semblent donc avoir leurs limites dans certaines branches de la médecine ou certaines procédures de soin plus difficiles à prendre en charge.

En effet, certaines prises en charge nécessitent un protocole particulier difficilement compatible avec des dispositifs classiques de Réalité Virtuelle. Des recherches sont en cours pour adapter les dispositifs de RV à ces procédures particulières (ex : prise en charge des patients brûlés au visage lors de soins quotidiens de pansements).

Plusieurs problématiques se posent alors aux professionnels de santé : la Réalité Virtuelle est-elle réellement efficace sur tous les types de douleurs et l'est-elle à toutes les intensités ? Serait-elle différente en fonction des individus ? Nous supposons que l'âge joue un rôle dans cette prise en charge car les dernières générations ont grandi avec les technologies informatiques et seraient donc plus impliquées ? Le problème se pose également aux âges extrêmes de la vie où les sens ou la capacité d'attention sont limités voire absents.

La puissance de la Réalité Virtuelle pourrait être différente en fonction de l'histoire du patient, de ses expériences passées, de son opinion sur ces dispositifs, etc... ?

Enfin pour les établissements de santé et les professionnels libéraux, est-ce un modèle économique viable dans le soulagement de la douleur ? Autant de questions qui se posent et que de nombreux chercheurs, ingénieurs, professionnels de santé cherchent à résoudre depuis le début du 21^{ème} siècle. À travers l'analyse d'études et de questionnaires nous tenterons d'apporter quelques réponses à ces questions.

III) Études concernant l'utilisation de la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de la douleur lors de maladie ou d'affection aiguës :

1) Procédures de soin fréquentes et utilisation en anesthésiologie :

A) Population pédiatrique :

La douleur induite par certaines procédures de soins courantes sont des facteurs de stress et d'anxiété chez les enfants qui auront pourtant besoin de telles procédures lors de leur croissance telles que l'administration de vaccins ou pour certaines prises de sang. Cette appréhension est un problème de santé publique car certains soins sont évités par peur de la douleur.

La Réalité Virtuelle pourrait alors être une méthode de distraction efficace pour les enfants lors de ces procédures courantes car elle est souvent perçue comme un loisir.

L'étude que nous allons analyser s'est basée sur l'hypothèse que la Réalité Virtuelle immersive et distractive pourrait détourner l'attention de l'enfant et entraîner une réponse plus lente aux signaux de douleur, entraînant une diminution de la perception douloureuse. Cette théorie est la théorie de fonctionnement non pharmacologique de la RV présentée précédemment.

Plusieurs alternatives pourraient être envisagées dans ce type de soins. L'utilisation de la Réalité Virtuelle seule ou en combinaison avec des soins standard (anesthésiques à faible dose sous forme de patches en applications locale telle que l'association Lidocaïne/Prilocaine), pour réduire la douleur et l'anxiété des patients par rapport aux anesthésiques seuls ou à d'autres méthodes de distraction comme la télévision ou la musique.

La Réalité Virtuelle pourrait être utilisée couramment pour les vaccinations, les injections ou ponctions intraveineuses, les prises de sang, les réparations de déchirures/lacérations/coupures bénignes qui font partie des traitements courants pédiatriques.

Étude sur la prise en charge pédiatrique de la vaccination en Réalité Virtuelle :

Prenons l'exemple des vaccins et de la peur des aiguilles que nous retrouvons fréquemment chez les jeunes enfants. Bien que la douleur liée aux vaccins ne soit pas importante, les parents reportent parfois les injections de leurs enfants en raison de préoccupations liées à l'inconfort de ces injections.

La Réalité Virtuelle dans une population pédiatrique semble être un atout de taille car les enfants

assimilent les dispositifs de RV à un jeu et sont beaucoup plus dociles et rassurés par de tels dispositifs car ils ont grandi avec d'autres outils numériques.

Une étude dirigée par le docteur **M.Silverberg et le docteur John La Puma (7)** dans les cliniques de cliniques Sansum de Santa Barbara et de Lompoc en Californie sur 244 patients a tenté de démontrer si la Réalité Virtuelle pouvait réduire le ressenti de douleurs chez des enfants. L'échantillon se composait d'enfants californiens vaccinés contre la grippe âgés de 2 à 16 ans. L'utilisation de la Réalité Virtuelle a été évaluée avant, pendant et après la vaccination. La moitié des enfants soit 122 enfants de l'échantillon ont reçu une injection à l'aide d'un dispositif de Réalité Virtuelle. Ils étaient transportés au milieu d'une scène représentant l'océan tout en se faisant vacciner contre la grippe saisonnière. Les enfants, les parents et les cliniciens des deux groupes ont été interrogés à l'aide de questionnaire suite à la procédure de soin.

Selon ces résultats le ressenti de la douleur associée aurait diminué de 45% à 74% par rapport aux soins standards. Les parents et les professionnels de santé ont témoigné que le groupe de RV semblait ressentir moins de douleur. Les enfants du groupe de Réalité Virtuelle auraient indiqué moins 48% de douleur et les cliniciens un niveau encore plus élevé de moins 75% de douleur. Néanmoins les résultats statistiques exacts n'ont pas été communiqué donc il est difficile d'apprécier la pertinence scientifique de ces résultats.

Il existe néanmoins beaucoup de limites à cette étude. Le dispositif de RV était composé de lunettes non reliées à un système informatique ont été utilisés, ce qui définit cette expérience comme moyennement immersive. De plus le patient n'était pas acteur de la scène mais uniquement spectateur, ce qui diminue les interactions avec le patient et donc son niveau d'immersion. Bien que l'échantillon soit relativement important, l'évaluation du score de douleur se base sur un témoignage subjectif soumis à de nombreux biais (questionnaire aux réponses subjectives).

Une limite important à cette étude est que pour les nourrissons (< 2ans) et pour les très jeunes enfants (<4-5 ans) il est difficile d'obtenir pleinement leur attention. Le problème est d'autant plus important que la majorité des vaccins avec le schéma vaccinal obligatoire du 1er janvier 2018 s'effectuent chez le nourrisson et le jeune enfant.

Cette étude semble donc encourageante mais demanderait à être confirmée par des mesures

objectives, des dispositifs plus performants et un suivi post-procédure pour vérifier l'absence d'éventuels effets indésirables.

Nous pouvons néanmoins conjecturer que les résultats positifs de cette étude sur une campagne de vaccination peuvent être étendus aux autres procédures de soins courantes peu douloureuses chez l'enfant telles que les prises de sang, la désinfection de plaies, etc..

Étude sur la prise en charge pédiatrique de ponctions veineuses en Réalité Virtuelle :

Prenons un nouvel exemple avec une étude chinoise publiée par **Cho Lee Wong, Miranda Mei Wa Lui et Kai Chow Choi (8)** au sujet des ponctions veineuses, ou prise de sang, dans une population pédiatrique. C'est une procédure courante en pédiatrie, souvent douloureuse et pénible pour l'enfant.

Cette étude cherchait à déterminer les effets de l'intervention de Réalité Virtuelle sur la réduction de la douleur, la durée de la ponction veineuse et l'augmentation de la satisfaction des patients et des professionnels de santé. Elle est l'une des premières à utiliser un large échantillon pour examiner l'efficacité de la Réalité Virtuelle pour des procédures de soin aux patients pédiatriques subissant une ponction veineuse. L'intérêt de l'analyse des résultats de cette étude est de potentiellement étendre ces résultats aux procédures mettant en jeu des aiguilles et potentiellement douloureuses.

L'étude a utilisé deux dispositifs de Réalité Virtuelle adaptés à l'âge du patient. Lors de cette étude, 200 enfants âgés de 4 à 12 ans ont été recrutés et attribués de manière randomisée au groupe expérimental de RV ou au groupe témoin. Le groupe expérimental recevait une ponction veineuse à l'aide d'un dispositif de Réalité Virtuelle immersive alors que le groupe témoin recevait uniquement des soins standard. L'évaluation des résultats a été effectuée à quatre moments différents: 10 min avant la procédure, pendant, immédiatement après et 30 min après la procédure. La prise de sang a été effectuée par un médecin et aucun analgésique local n'a été appliqué avant la procédure.

Les critères d'inclusion choisis sont les suivants :

- âgés de 4 à 12 ans car les patients âgés de moins de 4 ans ont une capacité cognitive et verbale éventuellement limitée afin répondre aux questionnaires.
- comprendre le chinois et suivre des instructions

Les critères d'exclusion choisis sont les suivants :

- problèmes cognitifs et/ou d'apprentissage
- altération de la douleur liée à d'éventuelles malformations
- antécédents de crises convulsives ou de mal des transports.

Dans le groupe expérimental, le matériel utilisé est un casque à usage unique telles que les lunettes en carton de chez Google®, où peuvent être installés la plupart des smartphones couramment disponibles. Bien que d'autres casques de Réalité Virtuelle plus récents existent, tels que l'Oculus Rift ou HTC Vive, qui offrent une expérience d'immersion de meilleure qualité, ils augmenteraient le risque d'infection de contact et nécessitent un ordinateur performant pour fonctionner. Par conséquent, cela augmenterait considérablement les coûts de mise en place et c'est pourquoi ces dispositifs ne sont pas utilisés dans cette étude.

Dans le groupe contrôle, les patients recevaient des soins standard de référence dans les ponctions veineuses incluant une explication du geste ainsi que des mots réconfortants et de soutien au patient pendant la procédure.

Pour les besoins de l'étude, la randomisation a été stratifié en deux groupes d'âge (de 4 à 7 ans et de 8 à 12 ans) en nombre égal dans chaque groupe car les enfants perçoivent différemment les informations et la sensibilité aux stimuli de la douleur en fonction de l'âge. Deux modules d'animation ont donc été développés. Ces modules sont adaptés afin de stimuler les sens des enfants ainsi que pour limiter les mouvements de la tête afin de ne pas entraver les procédures de soin.

Le protocole a été effectué sans la présence des parents pouvant être un biais de l'étude car cette présence se veut rassurante pour l'enfant. Cela permet d'éviter éviter les biais liés à leur présence. Le patient a été plongé dans le monde virtuel pendant cinq minutes avant le début de la procédure de ponction veineuse pour laisser le temps à l'immersion de se faire.

Afin d'évaluer l'intensité de la douleur, l'échelle FPS a été utilisée (Face Pain Scale). Elle consiste en différents visages représentant différents niveaux de douleur allant de 0 (pas de douleur) à 10 (douleur très importante). Il a été demandé à chaque enfant à l'issue de la procédure de montrer quel visage représentait le mieux son niveau de douleur. Les niveaux d'anxiété, le rythme cardiaque, le dosage du cortisol salivaire, la satisfaction du personnel, la rentabilité sont des paramètres qui ont été également mesurés.

Il a été prévu des analyses statistiques bilatérales dont le niveau de significativité est fixé à 0,05.

À ce jour, aucune analyse statistique n'a été publiée car l'essai est toujours en cours et se terminera en décembre 2020. Néanmoins les premiers résultats probants permettent de suggérer son efficacité dans la prise en charge de la douleur dans les ponctions veineuses pédiatriques et semblent confirmer que la Réalité Virtuelle est une perspective d'avenir dans la prise en charge de patients.

B) Population adulte :

Chaque jour de nombreuses interventions chirurgicales ont lieu à travers le monde. Elles peuvent nécessiter l'administration de sédatifs et/ou d'antalgiques afin d'augmenter le confort de soin des patients.

C'est pourquoi Pooja G. Pandya et son équipe dans leur étude intitulée « **Virtual reality distraction decreases routine intravenous sedation and procedure-related pain during preoperative adductor canal catheter insertion: a retrospective study** » (9) ont voulu étudier si la RV pouvait permettre la diminution d'utilisation de midazolam (sédatifs) et de fentanyl (antalgiques) lors de la pose d'un cathéter canalaire pré-opératoire avant une arthroplastie totale du genou afin de limiter les effets indésirables liés à l'utilisation du fentanyl.

Cette étude a donc été réalisée afin d'utiliser la Réalité Virtuelle dans le but d'éliminer la sédation procédurale intraveineuse de routine chez les patients subissant un placement préopératoire de cathéter du canal adducteur avant une arthroplastie du genou.



Illustration 6: Lunettes de Réalité Virtuelle Hypervision 2D

Le matériel utilisé lors de cette étude était des lunettes de Réalité Virtuelle Hypervision 2D (**illustration 6**) prévues pour fonctionner avec un un smartphone Galaxy S4 ainsi qu'une paire

d'écouteurs à usage unique. Chaque patient pouvait choisir parmi trois applications immersives différentes composées de scènes vives et de musique de fond : Titans of Spaces, Lanternes et SeaWorld (**illustration 7**).

« Titans of Space » est une visite de notre système solaire et utilise la fixation du regard pour afficher les informations à propos des différents astres. Il est considéré dans l'étude comme étant le plus immersif car c'est l'application qui sollicite le plus de sens.

« Lanternes » est une vue de nuit lors d'un festival de lanternes en papier virevoltant dans les airs et sur l'eau avec des ponts, des arbres et des montagnes en arrière-plan.

« Seaworld » représente une plongée sous-marine où les patients observent la vie sous l'eau.

Ce dispositif est considéré dans notre thèse comme un dispositif moyennement immersif.

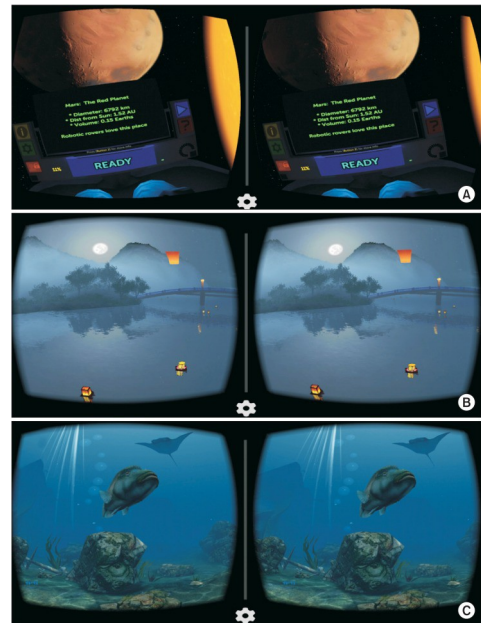


Illustration 7: Illustrations des logiciels Titans of space, Lanternes et Seaworld

Afin d'évaluer les différents paramètres de la procédure, le critère d'évaluation principal choisi a été la dose de fentanyl (en μg). Des critères d'évaluation secondaires ont été également choisis : la posologie du midazolam (en mg), les scores de douleur ont été évalués selon une échelle de notation numérique allant de 0 à 10 (où 0 = Aucune douleur et 10 = Douleur extrêmement intense) et couramment utilisée en évaluation de la douleur, le temps opératoire (en min) et les scores de variation de la pression artérielle (en mmHg).

Les résultats ont été obtenus et enregistrés à la fin de la mise en place du cathéter, du tunneling et de l'application du pansement.

Tableau 1

Les caractéristiques de base

	Non VR (n = 7)	VR (n = 7)	Valeur P
Âge (an)	67 (58–78)	69 (61–71)	0,806
Sexe (F / M)	0/7	0/7	> 0,999
État physique ASA	3 (2–3)	3 (3–3)	0,530
Hauteur (cm)	174 (168–179)	180 (175–188)	0,044
poids (kg)	114 (84–131)	103 (93–144)	0,543
Indice de masse corporelle (kg / m ²)	40 (29–41)	35 (28–45)	> 0,999
Utilisation d'opioïdes préopératoire	2	2	> 0,999
Antécédents de maladie mentale	1	4	0,266
Pression artérielle systolique (mmHg)	140 (127–156)	147 (130–161)	0,804
Pression artérielle diastolique (mmHg)	76 (69–88)	81 (62–89)	0,849

Tableau 1 : Caractéristiques de base des patients participant à l'étude lors de l'arthroplastie de genou

Sept patients ont formés le groupe contrôle sans Réalité Virtuelle et sept autre ont formé le groupe expérimental avec Réalité Virtuelle. Les deux groupes étaient de composition similaire (**Tableau 1**). Cinq des sept patients ayant utilisé la Réalité Virtuelle ont choisi d'utiliser « Titans of Space ». Le sixième patient a choisi « Lanternes » car ce logiciel lui semblait plus relaxant que les deux autres. Le dernier a débuté la procédure avec « Titans of Space », mais a rencontré des difficultés à fixer son regard sur les astres en raison de la position dans laquelle il se trouvait. Il a donc été changé de logiciel pour le logiciel « SeaWorld ».

Le dosage d'antalgique était plus faible dans le groupe expérimental (entre 0 et 20 µg) par rapport au groupe contrôle (50 [30–100] µg; p = 0,008). La douleur était plus faible dans le groupe expérimental (1 [1–4] sur l'échelle numérique de la douleur) que dans le groupe témoin (3 [2–6] sur l'échelle numérique de la douleur; p = 0,032).

Ce résultat permet de conclure à une diminution du ressenti de la douleur dans le groupe RV par rapport au groupe contrôle. Néanmoins avec un seuil de significativité de 5%, ces résultats ne sont que faiblement significatifs.

Tableau 2

Résultats secondaires

	Non VR (n = 7)	VR (n = 7)	Valeur P
Durée de la procédure (min)	20 (15, 32)	20 (15, 32)	> 0,999
Variation de la pression artérielle systolique (mmHg)	2 (-2, 12)	5 (2, 12)	0,453
Variation de la pression artérielle diastolique (mmHg)	0 (-4, 5)	5 (-8, 13)	0,583

Les valeurs sont rapportées comme la médiane (10e-90e centiles).

Tableau 2 : Résultats des critères d'évaluation secondaires de la procédure d'arthroplastie du genou

Les critères secondaires ont également été évalués (**Tableau 2**).

L'utilisation du midazolam était plus faible dans le groupe expérimental (0 [0–0] mg) que dans le groupe témoin (1 [0–1] mg; p = 0,024).

Un seul patient du groupe de Réalité Virtuelle a reçu une sédation intraveineuse car il ressentait de la douleur pendant la procédure d'insertion du cathéter péri-neural. Il a donc reçu un bolus intraveineux de fentanyl (50 µg)

Les patients du groupe témoin ont reçu une sédation intraveineuse pour six d'entre eux, quatre ont reçu à la fois du midazolam et du fentanyl, et deux ont reçu du fentanyl seul. Aucun patient ayant reçu une immersion de Réalité Virtuelle n'a signalé d'étourdissements ou de nausées, de vomissements ou d'autres effets indésirables.

En résumé la distraction par la Réalité Virtuelle semble avoir réduit la douleur liée à la procédure ainsi que le besoin de sédation dans le groupe expérimental. Cette étude comporte néanmoins plusieurs limites.

Tout d'abord, il n'y pas d'essai en simple aveugle ou double aveugle ce qui peut constituer un biais. Aucun groupe placebo et aucune autre forme de distraction non opioïdes n'ont été constitués afin de comparer l'efficacité de la Réalité Virtuelle face aux différentes distractions.

Enfin, l'étude a été réalisé sur des groupes de faible importance ce qui compromet la pertinence statistique des résultats fournis.

La distraction par la Réalité Virtuelle pourrait donc être une alternative non pharmacologique efficace à la sédation intraveineuse pour la mise en place guidée par ultrasons de certains cathéters et semble donc un domaine à explorer, au même titre que toutes les modalités analgésiques non

opioïdes pour maximiser le confort et la sécurité des patients.

2) Prise en charge des grands brûlés :

A) Population pédiatrique :

La Réalité Virtuelle a beaucoup été étudié dans la prise en charge de patients grands brûlés lors du changement de pansements. En effet, ces derniers doivent être changés fréquemment et ces changements sont à l'origine d'intenses douleurs pour ces patients. Ces deux dernières décennies, la Réalité Virtuelle a montré des résultats prometteurs pour réduire la douleur et l'inconfort lié aux brûlures chez les adolescents et les adultes. Plusieurs études intéressantes sur la Réalité Virtuelle ont été réalisées dans la prise en charge de jeunes patients.

Bien souvent malgré les antalgiques, les douleurs restent insuffisamment soulagées. C'est pourquoi des solutions alternatives sont recherchées et la RV pourrait être l'une d'entre elles.

Étude sur la prise en charge pédiatrique de grands brûlés en Réalité Virtuelle :

Une première étude de Schmitt, Hoffman et leur équipe intitulée « **A Randomized, Controlled Trial of Immersive Virtual Reality Analgesia during Physical Therapy for Pediatric Burn Injuries** » (10) a voulu mettre en avant l'efficacité des dispositifs de Réalité Virtuelle dans les thérapies physiques et de rééducation pour les enfants atteints de brûlures graves.

En effet, suite à d'importantes brûlures, les tissus se rigidifient et l'on observe une perte d'amplitude dans les mouvements des patients. Ces derniers sont bien souvent réfractaires aux soins car ils sont eux-mêmes souvent sources de douleurs importantes. Le traitement de référence dans cette prise en charge est l'administration d'antalgiques à fortes doses, sources de nombreux effets indésirables et d'un phénomène de tolérance obligeant le personnel médical à une augmentation croissante des doses.

Cinquante quatre patients, âgés de 6 à 19 ans, ont été sélectionnés pour participer à l'étude à l'université de Washington au Harborview Medical Center, à Seattle.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- les sujets devaient avoir 19 ans ou moins
- nécessitaient une thérapie physique de l'amplitude de mouvement assistée

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- d'importants mal des transports
- des brûlures aux oreilles, visage, etc...
- antécédents d'épilepsie

Ces critères d'exclusion ont été choisis car l'immersion par la Réalité Virtuelle provoque chez certaines personnes des effets secondaires similaires à ceux ressentis dans les transports. Le cerveau pourrait ressentir des incohérences entre les informations visuelles et auditives reçues avec les informations spatiales et les informations des centres de l'équilibre. Sa réaction serait alors de provoquer des nausées afin de signaler ces incohérences. Les antécédents d'épilepsie sont également un facteur de risque car l'immersion en Réalité Virtuelle induit une stimulation multi-sensorielle simultanée à l'aide d'écrans situés très proche du visage du patient. Tout cela est un facteur de risque de déclenchement de crises d'épilepsie.

Le protocole consistant en des exercices d'amplitude de mouvements sous la direction d'un thérapeute pendant 1 à 5 jours. Pour éviter les biais, les sujets ont passé autant de temps en condition de Réalité Virtuelle que dans les conditions de contrôle. L'étude a été réalisée avec le logiciel « Snowworld », d'un casque de Réalité Virtuelle relié à un système informatique performant permettant une expérience hautement immersive.

D'autres critères d'évaluation ont été pris en compte : la perception de l'expérience de Réalité Virtuelle par les sujets et l'amplitude de mouvement maximale.

Chaque patient a reçu un antalgique (Fentanyl à 5-15 µg/kg) et/ou une sédation (Midazolam à 0,5mg/kg) de référence à l'insu des professionnels de santé car l'étude a été réalisée en double aveugle.

	J1	J2	J3	J4	J5
Nombre de patients	54	31	20	9	5

Cinquante quatre patients ont participé à l'étude au moins une journée, 31 pendant deux journées, 20 pendant trois jours, 9 pendant quatre jours et 5 la durée complète du protocole. Les participants ont été progressivement exclus car ils nécessitaient des soins qui n'étaient plus compatibles avec le protocole.

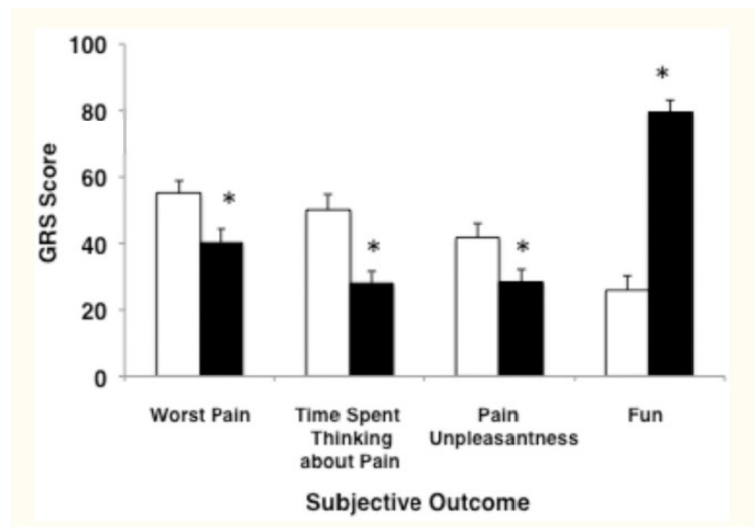


Diagramme 1 : Résultats GRS d'évaluation des différents aspects de la douleur lors du premier jour d'étude.

Diagramme blanc : condition de contrôle

Diagramme noir : condition de RV

L'échelle d'évaluation utilisée a été une échelle GRS annotée de 0 à 100 points. Les résultats obtenus ont montré que le premier jour de l'étude (**diagramme 1**), les sujets ont signalé des baisses significatives ($p < 0,05$) allant de 27% de réduction de la douleur sensorielle à 44% de la douleur cognitive après évaluation de la douleur dans les conditions de Réalité Virtuelle versus condition de contrôle. La pire douleur, le temps passé à penser à la douleur et l'inconfort dû à la douleur sont significativement diminués dans les conditions de Réalité Virtuelle. Le plaisir ressenti lors de la procédure est en revanche lui aussi significativement augmenté dans les conditions de Réalité Virtuelle ($p < 0,001$).

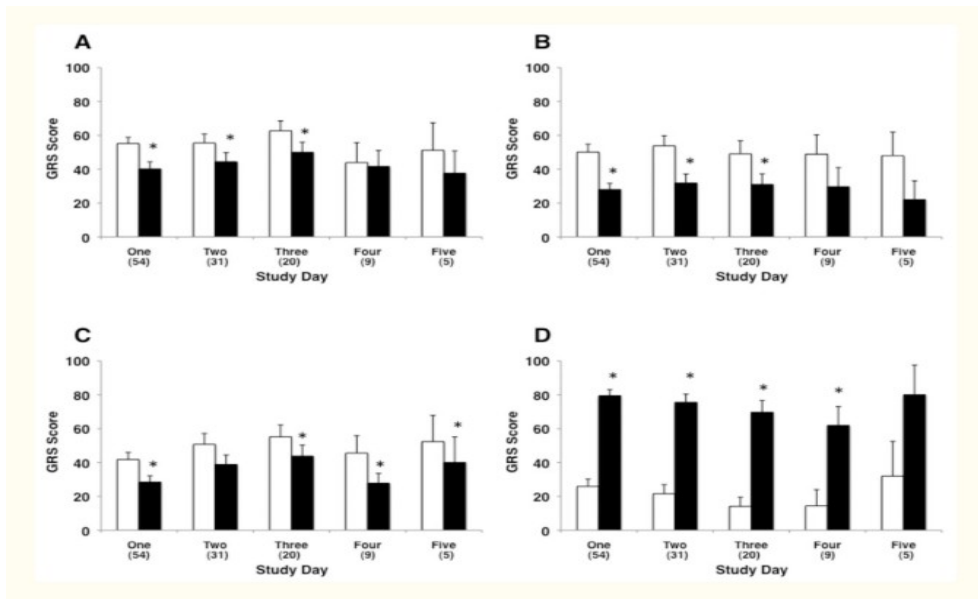


Diagramme 2 : Résultats GRS d'évaluation des différents aspects de la douleur (Pire douleur (A), Temps passé à penser à la douleur (B), Inconfort lié à la douleur (C)) ainsi qu'au plaisir ressenti lors de la procédure (D) lors des jours 2, 3, 4 et 5.

Diagramme blanc : condition de contrôle

Diagramme noir : condition de RV

Il était également évalué si cette réduction du ressenti antalgique était maintenue avec des utilisations répétées de la Réalité Virtuelle au cours de plusieurs séances de thérapie et elle ne fut pas diminuée lors des cinq journées de l'étude (**diagramme 2**). En effet, on observe que malgré la répétabilité du protocole la pire douleur ressentie, le temps passé à penser à la douleur et l'inconfort lié à la douleur restent significativement inférieurs et homogènes lors des jours suivants. Le plaisir éprouvé lors du protocole reste quant à lui très nettement supérieur lors des conditions expérimentales de Réalité Virtuelle.

L'amplitude maximale de mouvement n'était pas significativement différent ($p=0,21$) entre les conditions de traitement, mais était significativement plus élevée après la deuxième condition de traitement (indépendamment de l'ordre de traitement).

	<u>Jour 1</u>	<u>Jour 2</u>	<u>3e jour</u>	<u>Jour 4</u>	<u>5e jour</u>
La nausée	9,3 (20,3)	3,0 (8,1)	1,0 (4,4)	0 (0)	4,0 (8,9)
Présence	47,7 (37,0)	55,0 (35,9)	58,8 (29,7)	53,3 (38,4)	76,0 (28,8)
Le réalisme	35,7 (33,1)	40,3 (31,4)	46,4 (33,1)	35,1 (33,0)	46,0 (37,1)

Tableau 3: Résultats des mesures subjectives de l'étude réalisées uniquement dans les conditions expérimentales de Réalité Virtuelle

Concernant les critères d'évaluation secondaires (**tableau 3**), 75% des sujets ont signalé une absence totale de nausées le premier jour d'étude et 84% le second jour. Les nausées signalées par les 16% ont été qualifiées de faibles car la moyenne était de 9,3 (GRS) le premier jour et de moins de 4,0 (GRS) les jours suivants.

Le sentiment de réalisme et de présence ont été évalués respectivement à 47,7(écart type 37,0) et 35,7 (écart type 33,1) à J1.

Ces scores peuvent être améliorés pour augmenter le détournement d'attention du patient et diminuer davantage le sentiment douloureux.

En conclusion, ces résultats suggèrent que la RV serait un moyen non pharmacologique efficace, une technique alternative ou complémentaire dans la réduction de la douleur. Néanmoins cette étude possède certaines limites. Les professionnels et les patients connaissaient les conditions de contrôle et pouvaient être plus investis dans l'une ou l'autre des conditions. Un essai en double aveugle serait nécessaire. De plus, la puissance statistique de l'étude a diminué au cours de l'expérience car beaucoup de patients ont été progressivement exclus, ceci étant dû à un changement de traitement non compatible avec la poursuite du protocole expérimental. Les effets indésirables lors de la condition de contrôle n'ont également pas été évalués ce qui ne permet pas un comparatif avec la condition de Réalité Virtuelle.

Étude sur la prise en charge pédiatrique de grands brûlés en Réalité Virtuelle versus condition de distraction passive standard:

Un autre essai randomisé réalisé par Jeffs intitulée « **Effect of Virtual Reality on Adolescent Pain During Burn Wound Care** » (11) était une comparaison des soins standards avec des distractions passives standards telles que regarder un film, écouter de la musique, etc... avec la Réalité Virtuelle sur 30 adolescents sélectionnés et âgés de 10 à 17 ans (moyenne = 13.5 ans) d'une clinique

spécialisée dans les brûlures.

Pour cet essai clinique contrôlé et randomisé, une conception expérimentale en simple aveugle au cours d'une procédure de soins des plaies dans un cadre ambulatoire a été réalisé. Le simple aveugle consistait du fait que l'équipe traitant les résultats du protocole expérimental n'avait pas connaissance de l'appartenance des patients aux différents groupes. Le simple aveugle a été uniquement annulé pour le paramètre de répétabilité car pour apprécier de ce paramètre il était nécessaire de connaître l'appartenance aux différents groupes.

Les patients ont été réparti en trois groupes distincts :

- un groupe témoin avec soins standards
- un groupe expérimental avec distraction passive (regarder un film intitulé « Cloudy with a Chance of Meatballs »)
- un groupe expérimental de Réalité Virtuelle avec le logiciel « Snowworld », logiciel conçu spécifiquement pour les patients recevant des soins de plaies liées aux brûlures.

Le matériel utilisé est un casque RV Kaiser Optics SR80a avec un champ de vision de 80 degrés monté sur un trépied à bras articulé sur mesure et relié à un poste de travail ainsi qu'un casque Bose® Quiet Comfort 3 comme écouteurs. Ce système de trépied a été justifié afin d'éviter l'exclusion des patients souffrant de brûlures au visage.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- patients subissant des soins de plaies liées à des brûlures en consultation externe
- âgés de 10 à 17 ans
- parlant anglais

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- patients avec des brûlures qui pourraient interférer avec les procédures d'étude
- antécédents de mal des transports
- antécédents de troubles épileptiques

- les mineurs incarcérés ou en famille d'accueil
- présence de troubles cognitifs du développement

Suite aux critères d'inclusion et d'exclusion, 42 patients étaient potentiellement éligibles et 30 ont été sélectionnés. Néanmoins, seuls 28 patients ont commencé l'étude et ont donc évalué le dispositif.

La différence entre les groupes a été déterminée par régression linéaire multiple (**voir annexe statistiques**) ajustée pour l'âge, le sexe, la douleur avant la procédure, l'anxiété, l'utilisation d'opiacés et la durée du traitement. L'évaluation s'est faite avec un outil d'évaluation de la douleur intitulé « Adolescent Pediatric Pain Tool (APPT) ». Il se compose d'un dessin d'un corps pour déterminer l'emplacement de la douleur, d'une échelle de notation graphique de 100 mm (0 = pas de douleur et 100 = pire douleur) afin d'évaluer l'intensité de la douleur et d'une liste de mots pour décrire les qualités sensorielles, affectives et évaluatives de la douleur. Des questionnaires pré et post-procédure ont été également remplis par les patients.

Table 1. Demographics, clinical features, and self-reported pain and anxiety by study group

	Standard Care	Passive Distraction	Virtual Reality	Total	P
N	10	10	8	28	
Age (years)**	13.9 (2.8)	12.6 (2.1)	14.3 (2.0)	13.5 (2.3)	.21
Sex					.12*
<i>Female</i>	2 (20%)	2 (20%)	5 (62%)	9 (32%)	
<i>Male</i>	8 (80%)	8 (80%)	3 (38%)	19 (68%)	
Race					.18*
<i>African-American</i>	5 (50%)	1 (10%)	2 (25%)	8 (28%)	
<i>Caucasian</i>	5 (50%)	8 (80%)	4 (50%)	17 (61%)	
<i>Other</i>	0	1 (10%)	2 (25%)	3 (11%)	
Cause of burn injury					.56*
<i>Fire</i>	5 (55%)	4 (40%)	3 (38%)	12 (44%)	
<i>Scald</i>	1 (11%)	3 (30%)	4 (50%)	8 (30%)	
<i>Hot object</i>	3 (33%)	3 (30%)	1 (12%)	7 (26%)	
Full-depth burn					.06*
<i>No</i>	4 (40%)	9 (90%)	4 (50%)	17 (61%)	
<i>Yes</i>	6 (60%)	1 (10%)	4 (50%)	11 (39%)	
Original burn surface area (%)**	4.7 (6.9)	3.4 (3.3)	7.4 (8.5)	5.0 (6.2)	.81
Time from injury to treatment (days)	10.0 (9.0)	6.1 (4.3)	11.9 (13.9)	9.1 (9.4)	0.72
Preprocedure opioid analgesic					.99*
<i>No</i>	2 (20%)	3 (30%)	2 (25%)	7 (25%)	
<i>Yes</i>	8 (80%)	7 (70%)	6 (75%)	21 (75%)	
Previous wound care treatments					.34†
<i>None</i>	2 (20%)	1 (10%)	0	3 (11%)	
<i>One</i>	4 (40%)	3 (30%)	3 (38%)	10 (36%)	
<i>Two</i>	1 (10%)	1 (10%)	0	2 (7%)	
<i>Three or More</i>	3 (30%)	5 (50%)	5 (62%)	13 (46%)	
Desire for distraction					.37*
<i>No</i>	3 (30%)	2 (22%)	0	5 (19%)	
<i>Yes</i>	7 (70%)	7 (78%)	7 (100%)	21 (81%)	
Expectation of pleasant experience					.06*
<i>No</i>	8 (80%)	5 (50%)	8 (100%)	21 (75%)	
<i>Yes</i>	2 (20%)	5 (50%)	0	7 (25%)	
Procedure length (minutes)**	49.0 (27.4)	31.6 (11.0)	31.6 (30.8)	37.8 (24.7)	.11
Pre-Procedure Pain Questionnaire [0–100]**	22.9 (26.0)	8.7 (14.5)	40.1 (30.9)	22.8 (26.6)	.041
STAIC State Anxiety Scale**	33.6 (10.6)	27.0 (4.0)	34.4 (9.1)	31.5 (8.7)	.06
STAIC Trait Anxiety Scale**	34.1 (7.1)	33.5 (7.5)	34.6 (5.0)	34.0 (6.5)	.71

STAIC, Spielberger State-Trait Anxiety Inventory for Children.

Boldface indicates statistical significance.

*N (column %) and Fisher's exact test reported. Otherwise,

**mean (SD) and Kruskal-Wallis test reported.

†N (column %) and Kruskal-Wallis reported for ordinal measure.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des patients des différents groupes d'étude et résultats des différents aspects de la douleur lors de procédure de soin de plaies par brûlures

Journal of Burn Care & Research ; « Effect of Virtual Reality on Adolescent Pain During Burn Wound Care » ; Debra Jeffs, Dona Dorman, Susan Brown, Amber Files, Tamara Graves, Elizabeth Kirk, Sandra Meredith-Neve, Janise Sanders, Benjamin White, Christopher J. Swearingen ; Septembre/Octobre 2014

Les patients du groupe expérimental de Réalité Virtuelle ont reportés moins de douleurs (**tableau 4**) pendant les soins de brûlures par rapport aux deux autres groupes (diminution de la perception de la douleur) avant et pendant la procédure de soin.

Les antalgiques opioïdes utilisés avant la procédure (l'acétaminophène/codéine ou l'oxycodone) pendant les soins actuels des plaies la procédure était égale entre les trois groupes.

Lors de l'immersion en Réalité Virtuelle, aucun participant n'a signalé de nausées, de vomissements ou d'étourdissements.

Plus d'un tiers des participants ont choisi les mots suivants pour décrire leur douleur lors des soins de brûlure : «douleur», «endolori», «brûlant», «palpitant», «démangeant», «inconfortable», «serré», et « va et vient ». Concernant la régression linéaire multivariable, les hommes ont rapporté significativement moins de brûlures moyennes de la douleur procédurale que les femmes (32,6 mm, 95% [IC]: 14,9–50,2, $p < 0,001$). Les hommes étaient plus susceptibles d'avoir des brûlures causées par le feu (61% d'hommes vs 11% de femmes), tandis que les femmes étaient plus susceptibles d'avoir des échaudures (67% de femmes contre 11% d'hommes) ($p=0.007$).

Les participants du groupe expérimental de Réalité Virtuelle ont rapporté significativement moins de douleur (**diagramme 3**) lors de la procédure que le groupe de distraction passive (différence = 23,7 mm, IC à 95%: 2,4–45,0, $p = 0,029$) et moins de douleur procédurale par rapport au groupe contrôle sans distraction (différence = 9,7 mm, IC à 95%: -9,5 à 28,9, $p = 0,32$). Ce second résultat n'est en revanche pas statistiquement significatif.

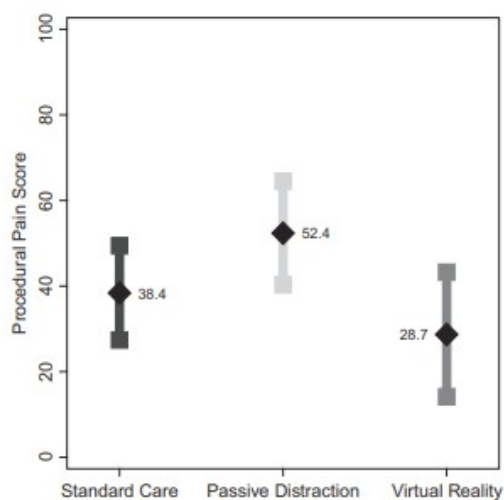


Diagramme 3 : Résultats d'évaluation de la douleur dans les différents groupes d'étude lors de soins de plaies liées aux brûlures

Les résultats de cette étude contribuent à l'appui de la technologie hautement interactive et immersive comme une méthode efficace pour réduire les procédures douloureuses chez les patients lors des soins des brûlures mais nécessite précision et augmentation de l'échantillonnage pour permettre une meilleure puissance statistique.

Le problème qui persiste est que la Réalité Virtuelle n'a pas été testée pour la douleur liée aux brûlures chez les enfants de moins de 4 ans. Les prototypes de VR actuels requièrent de porter des lunettes ou des casques sur la tête et à ces âges la majorité des blessures sont localisées sur le visage et la tête. Afin de palier à ce problème des tests avec de la RV en projection ont été effectués.

Étude sur la prise en charge pédiatrique de grands brûlés en Réalité Virtuelle à l'aide de projections chez les très jeunes enfants:

Une nouvelle étude a été réalisée au CHU Sainte-Justine dans la province de Québec intitulée « **Projector-based virtual reality dome environment for procedural pain and anxiety in young children with burn injuries: a pilot study** » (12). Ce centre est un centre de référence sur les brûlures pédiatriques dans le monde.

Bien que faiblement immersive selon les critères de notre exposé car réalisée par projection sur un écran incurvé de taille moyenne, cette étude permet d'évaluer l'efficacité de la Réalité Virtuelle lors de séances d'hydrothérapie sur des patients brûlés au visage car ce dispositif ne nécessite pas le port d'un casque.

Comme expliqué précédemment, l'hydrothérapie est une procédure douloureuse permettant le retrait du pansement, la réalisation d'exercices d'amplitude de mouvement pour la rééducation du patient et éviter la rigidification de la peau, l'application du nouveau pansement, etc... Les soins standards habituellement mis en place dans ce genre de procédure pour les très jeunes patients consistent en des traitements pharmacologiques tels que l'utilisation d'antalgiques opioïdes, d'analgésiques non opioïdes et d'agents sédatifs.

Cette étude et toutes ses composantes (recrutement, choix des exclusions/inclusions et méthode de recueil de données) ont été choisies dans l'idée de reconduire une future étude à plus large échelle pour une meilleure pertinence scientifique.

Les critères d'inclusions choisis étaient les suivants :

- enfants âgés entre 2 mois et 10 ans
- souffrant d'une brûlure, quelque soit le degré, la profondeur ou l'étendue de la brûlure

Les critères d'exclusion choisis étaient les suivants :

- nécessité de soins intensifs
- si l'enfant est diagnostiqué avec une instabilité neurocognitive
- les patients intubés
- les patients souffrant d'épilepsie ou d'antécédents d'épilepsie

- antécédents d'allergie aux opioïdes ou aux autres analgésiques

Lors de ce protocole, une infirmière surveille et documente le niveau de douleur de l'enfant (avec l'anesthésiste) afin d'ajuster la posologie d'analgésiques nécessaires pour la séance en cours. La première dose d'antalgique était administrée une heure avant l'intervention : l'antalgique était soit de la morphine orale (dose initiale: 0,4–0,5 mg/kg/dose), soit de l'hydromorphone orale (dose initiale: 0,08–0,1 mg/kg/dose).

Trente minutes avant l'intervention, une dose de kétamine orale (anesthésique général) (5 à 10 mg / kg / dose, maximum de 500 mg), une dose midazolam (sédatif) (0,2-0,5 mg / kg / dose, maximum de 20 mg) et de l'acétaminophène (antalgique) par voie orale (10 mg / kg / dose, maximum de 640 mg) sont administrées au patient.

En cas de douleurs trop importantes, une analgésie de sauvetage (fentanyl) par voie intranasale (1 µg / kg / dose, maximum de 100 µg) était disponible.

Le matériel se composait d'un dôme de Réalité Virtuelle basé sur un projecteur composé d'écran incurvé d'un angle de 150°. Le matériel se composait d'un projecteur (*PANASONIC PT-RZ47*, résolution: 1920 × 1080) relié à un ordinateur avec un logiciel (**illustration 8**).



Illustration 8: Bassin d'hydrothérapie avec dôme immersif lors de soin de plaies au CHU Sainte Justine (logiciel Bubbles)

Le jeu vidéo Bubbles® est un jeu 3D développé, testé et approuvé par une équipe de professionnels de la santé (infirmières, physiothérapeutes, chirurgien plasticien, infirmière clinicienne spécialisée) impliqués spécifiquement dans le traitement des brûlures pédiatriques.

Cet écran permettait un certain niveau d'immersion défini comme faible dans notre thèse. Il a été déployé car le port de casque ou de lunettes était impossible pour ces patients car il existe un risque de contamination entre les patients. De plus, ce port aurait été douloureux compte tenu de l'étendue de certaines brûlures.

En fonction de son âge et de son niveau de sédation, l'enfant pouvait générer des bulles

supplémentaires sur l'écran en comprimant une souris imperméable en forme de poire. Certains enfants étaient trop jeunes ou brûlés au niveau des mains. Un mandataire effectuait donc les actions à leurs places. Ce logiciel permettait la stimulation de tous les sens avec des animaux aux formes amusantes apparaissant à l'écran, une navigation dans un wagon à travers différents paysages (village, plage, forêt). Ce voyage était accompagné d'une musique apaisante et joyeuse.

L'acceptabilité de l'intervention a été évaluée en demandant aux professionnels de la santé dans quelle mesure ils étaient d'accord ou non avec le déroulement de l'étude (4 niveaux de réponses de fortement d'accord à fortement en désaccord).

Huit éléments ont été évalués concernant l'acceptabilité de l'étude :

- Intervention de réalité virtuelle
- Prototype de jeu vidéo, utilisation à des fins de distraction
- Intervention dans la procédure de soin
- Adaptation du prototype au cadre de la salle d'hydrothérapie
- Effet perçu sur la douleur et la coopération de l'enfant
- Pertinence du jeu pour l'âge des participants
- Volonté de réutiliser le prototype dans les procédures futures
- Considèrent ou non la distraction RV basée sur un projecteur comme une idée à développer

L'évaluation du dispositif s'est faite à l'aide d'une échelle de l'intensité de la douleur mesurée à tous les instants de l'étude à l'aide de l'échelle FLACC (une échelle de la douleur comportementale), observationnelle allant de 0 à 10 (0 = relaxée et confortable, 7-10 = inconfort / douleur sévère) pour les enfants de 0 à 18 ans. L'évaluation s'est faite pendant et après la procédure et les résultats ont été calculés à l'aide de tests de Friedman (**voir annexe statistiques**) avec un $p < 0,05$ considéré comme le seuil statistiquement significatif.

La taille de l'échantillon n'a pas été déterminée statistiquement, aucun calcul de la puissance avant étude n'a été effectué car il s'agissait d'une étude pilote.

L'analyse sera principalement descriptive car l'échantillon sélectionné était trop petit et la pertinence statistique était trop faible.

Les résultats ont été recueilli du 14 juin 2016 au 31 janvier 2017. Dix neuf enfants répondaient aux critères de sélection. Les parents de l'un des enfants ont refusé sa participation.

Sur les dix huit patients recrutés, trois ont été exclu car ils présentaient une sédation trop élevée sur l'échelle de Ramsay. L'échantillon total était donc de quinze enfants .

L'âge moyen des enfants était de 2,2 ans \pm 2,1 (médiane = 1,6; intervalle interquartile = 0,9 à 2,4), la majorité était des garçons (60%). Toutes les brûlures dont souffraient les enfants, à l'exception d'une, ont été causées par une blessure thermique (93,3%) avec une surface corporelle totale moyenne de 5% (\pm 4).

La satisfaction des professionnels de santé a été évalué à plus de 68,7%. Ils ont indiqué être satisfaits de l'utilisation de l'environnement du dôme de Réalité Virtuelle basé sur un projecteur au cours de la séance d'hydrothérapie.

Ils ont évalué que l'utilisation de la Réalité Virtuelle permettait une meilleure coopération de l'enfant avec les soins dans 55,6% des cas et permettait un meilleur contrôle de la douleur dans 68,7% des cas. La plupart (85,9%) ont également ajouté que l'utilisation de la RV n'interférait pas avec le déroulement des soins et 91,3% ont considéré que le prototype était adapté à l'environnement de la salle d'hydrothérapie ainsi qu'à l'âge et au stade de développement de l'enfant (90,2%).

Pour finir, tous les patients ont indiqué qu'il utiliseraient à nouveau les dispositifs de Réalité Virtuelle basée sur un projecteur pour les prochaines procédures de soin dans le traitement des plaies de brûlures chez les enfants et qu'il s'agissait d'une idée à développer et à améliorer.

Concernant les effets indésirables, un seul enfant sur les quinze patients a vomi après la séance d'hydrothérapie, mais les vomissements ne semblaient pas liés à la VR car il a également vomi avant le début de la procédure. De plus, il est difficile d'évaluer si les effets indésirables sont dûs aux antalgiques, sédatifs ou à l'utilisation de la Réalité Virtuelle.

Le plus jeune enfant / nourrisson recruté avait 3 mois et était le seul participant âgé de moins de 6 mois. La limite est qu'il est difficile d'interpréter les résultats sur un patient si jeune car le biais d'interprétation est trop important et ses résultats sont donc à prendre avec prudence. Le deuxième plus jeune enfant / nourrisson avait 8 mois et semblait apprécier le jeu malgré son jeune âge.

Enfin, bien que tous les enfants n'aient pas besoin de plus d'une séance d'hydrothérapie, tous les

parents des enfants participants ont accepté de répéter l'expérience avec l'environnement du dôme de RV basé sur un projecteur si leur enfant avait besoin d'une autre session d'autant que l'intérêt est que l'efficacité est maintenue d'une session à l'autre.

Pain scores at each study time

Study time	Participants (n)	Minimum	Maximum	Mean/10*	SD
FLACC_T1	14	0	6	2.0	2.4
FLACC_T2	15	0	7	2.1	2.7
FLACC_T3	15	0	7	2.9	3.0
FLACC_T4	14	0	8	2.6	2.9
FLACC_T5	3	0	3	1.0	1.7

Notes: T1= 1 hour before the procedure; T2= on arrival at the hydrotherapy room; T3= 10 minutes after the beginning of the procedure (concurrent with debridement); T4= immediately after the procedure and before leaving hydrotherapy room; T5= 30 minutes after the procedure.

*Mean/10 refers to the mean pain score of participants at each study time on the FLACC scale ranging from 0 to 10.

Abbreviation: FLACC, Face, Legs, Activity, Cry, Consolability scale.

Tableau 5: Résultats des scores de douleurs à différents temps selon l'échelle FLACC

Les résultats liés à la douleur au cours de l'étude sont présentés dans le **tableau 5**. T1 correspondait à une heure avant la procédure, T2 correspondait à l'arrivée dans la salle d'hydrothérapie et le début de la procédure, T3 à 10 minutes après le début de la procédure (en même temps que le débridement), T4 correspondait tout juste après la procédure et avant de quitter la salle d'hydrothérapie, T5 correspondait à 30 minutes après la procédure.

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative dans la douleur observée sur l'échelle FLACC avant (T2), pendant (T3) et après (T4) la procédure ($p = 0,264 > p(0,05)$ significatif). Le score de douleur moyen sur le FLACC à T3 est resté faible ($2,9 / 10 \pm 3,0$), ce qui indique un faible niveau de douleur.

Cependant, la distribution des niveaux de douleur sur l'échelle FLACC était bimodale à T3, les participants présentant des scores de douleur faibles ($0-3 / 10$) ou sévères ($\geq 7 / 10$) (Médiane de 2,0; IQR = 7,0-0,0). Bien qu'elle ne soit pas significative pour $p < 0,05$, on observe une diminution du ressenti douloureux lors de la séance de Réalité Virtuelle.

En conclusion de cette étude pilote, l'environnement du dôme de Réalité Virtuelle basé sur un projecteur est une intervention réalisable qui pourrait être utilisé chez les enfants atteints de brûlures en plus du traitement pharmacologique standard car les niveaux de douleur sont restés faibles pendant le débridement de la plaie. La limite de cette étude réside en la variabilité préexistante liée au site de la brûlure, à la profondeur et à l'étendue de ces brûlures. Il est donc très difficile de standardiser le traitement pharmacologique d'une session à l'autre et ces traitements sont très variables entre les sujets.

Il est difficile de prédire comment les enfants souffrant de brûlures plus importantes réagiraient à une intervention en utilisant la distraction ou s'ils seraient capables d'interagir avec un jeu vidéo, car ils pourraient nécessiter un niveau de sédation plus élevé proportionnel à la gravité de la brûlure pendant la procédure.

Une meilleure approche pour les essais à venir consisterait à comparer les deux conditions de traitement (environnement de dôme de RV basé sur un projecteur avec l'absence de traitement RV, traitement pharmacologique standard).

Un plus grand groupe expérimental serait nécessaire pour confirmer l'efficacité de cette intervention pour le traitement de la douleur lors de la procédure dans la même population. Les données provenant d'un échantillon plus important permettraient également d'étudier l'influence d'autres facteurs. Cela permettrait de prendre en compte les différents biais susceptibles d'atténuer ou d'augmenter les niveaux de douleur, telles que les expériences de douleur précédentes, la profondeur de brûlure et l'étendue, etc..

B) Population adulte :

La douleur associée aux brûlures est reconnue comme étant une douleur extrêmement importante.

Les soins de plaies permettent la prévention des infections et permettent de favoriser la guérison car les patients gravement brûlés doivent se faire enlever leurs pansements et nettoyer leurs plaies tous les jours pendant des semaines, voire des mois. Cela permet de contrôler l'évolution de la guérison.

Le principe du soin de ces plaies est le retrait des tissus morts, l'étirement de la peau jeune pour maintenir l'élasticité de la peau et des exercices musculaires et articulaires impliqués dans la rééducation du patient. Tous ces exercices sont autant de stimulation des nouveaux récepteurs à l'origine de douleurs très intenses pour les patients.

La Réalité Virtuelle est une approche non pharmacologique de la prise en charge de cette douleur

ressenti par le patient lors de ces procédures qui pourrait entraîner moins d'effets indésirables et qui pourrait être soumise à moins de limites.

Étude sur les contraintes de la prise en charge de patients grands brûlés en Réalité Virtuelle:

C'est ce qu'ont voulu démontrer les pionniers de l'utilisation de la Réalité Virtuelle à des fins médicales Hoffman et Patterson dans leur étude « **Virtual Reality : riding the wave of innovation at UW medicine** » (13) sur des patients brûlés avec le logiciel « Snow World ». Ils sont partis de l'hypothèse non pharmacologique du fonctionnement de la RV et que l'attention pouvait être détournée des signaux de douleur entraînant ainsi une diminution importante de la douleur. Cette attention est stimulée par plusieurs sens mis en éveil par les dispositifs de Réalité Virtuelle.

Dans leur étude, les patients étudiées constituaient une population sensible nécessitant un développement d'un monde adapté aux « besoins » différents de ces patients. En effet, ces patients sont souvent sous antalgiques opioïdes et donc sujets à de nombreuses nausées liées aux effets secondaires des médicaments antalgiques utilisés à fortes doses. Les principaux effets indésirables de la Réalité Virtuelle sont les nausées induites par des incohérences entre les informations reçues par la vue, l'oreille interne et les centres de l'équilibre.

Dans le logiciel utilisé il était alors nécessaire de ne pas effectuer certaines actions comme les sensation de vol, de descentes brusques, de vitesses , ou de brusques rebondissements pour éviter d'accentuer ce phénomène de nausées.

De plus ces patients sont souvent plongés dans de grands bains nécessaires aux soins c'est pourquoi les dispositifs devait être compatibles et étanches.

Pour les patients grands brûlés, le moindre mouvement est très douloureux c'est pourquoi le logiciel devait permettre l'immersion du patient et favoriser son interactivité avec le logiciel en effectuant le moins de mouvements possibles.

Pour évaluer et mesurer l'intensité de l'activité cérébrale des patients, Hoffman et Patterson ont utilisé l'IRM. Ils se sont aperçus que sans RV, après des stimuli douloureux, on observait une large augmentation de l'activité de la zone cérébrale associée à la douleur. Ils ont également observés que

les patients soumis à la RV à travers le logiciel « Snowworld » voyaient leur activité cérébrale associée aux zones répondant à la douleur nettement diminuée.

L'utilisation du logiciel « Snowworld » permettrait une augmentation importante de l'implication du patient et de sa tolérance aux soins.

Cette étude permet de continuer à faire avancer le domaine de la Réalité Virtuelle et contribue à élargir le champ de ses applications.

Étude sur la prise en charge de patients grands brûlés en Réalité Virtuelle:

Hoffman, Patterson ainsi que leur équipe ont également publié une étude intitulée « **Virtual Reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedure** » (14).

Elle reprend les principes de leur étude précédente à l'aide du logiciel « Snowworld » avec une même problématique très actuelle qu'est l'administration répétée d'opioïdes entraînant souvent une réduction progressive des effets analgésiques, un phénomène connu sous le nom de phénomène de tolérance ce qui induit une nécessité d'augmentation de doses pour obtenir un même effet antalgique. Cela induit parfois une dépendance physique avec des symptômes de sevrage physique et émotionnel.

Parfois, malgré les doses maximales d'opioïdes, les patients ne sont pas pleinement soulagés.

Chez les patients atteints de brûlures au niveau des articulations, des séances de kinésithérapie pour aider à retrouver une mobilité normale sont déjà prescrites et la Réalité Virtuelle pourrait être un complément et une aide à ces séances de kinésithérapie car il existe un réel problème d'observance liée aux intenses douleurs ressenties pendant ces exercices de kinésithérapie.

L'étude s'est déroulée lors de la prise en charge de soins de plaies de onze patients dans un réservoir d'hydrothérapie, un dispositif de Réalité Virtuelle a été déployé pour mesurer l'efficacité de ces dispositifs (**illustration 9 gauche**). Les patients ont reçu un temps t donné de soins sans distraction RV et un temps équivalent de soins avec le dispositif de RV. L'ordre de passage pour chaque patient était randomisé pour éviter les biais.

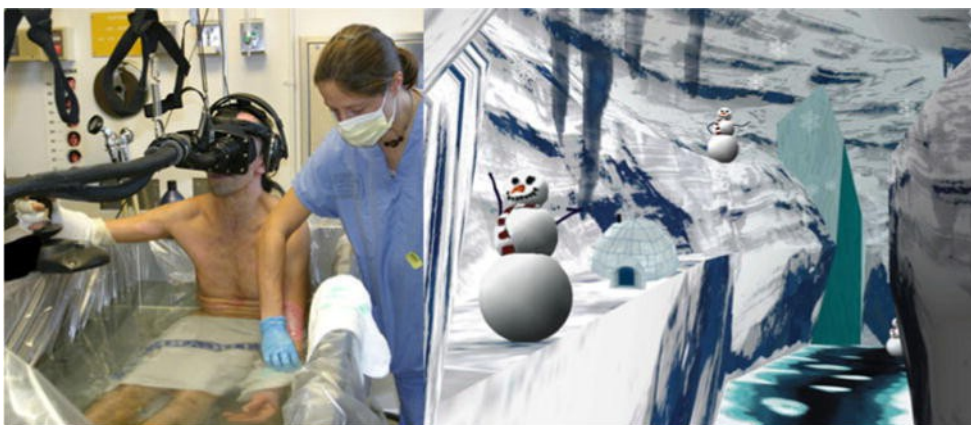


Illustration 9: À gauche : Protocole de soin de plaies dans un réservoir d'hydrothérapie à l'aide du dispositif de Réalité Virtuelle de haute immersion ; À droite : capture d'écran du logiciel SnowWorld

Le matériel utilisé est un casque de Réalité Virtuelle relié à un système informatique permettant une immersion définie comme une haute immersion dans notre exposée. L'interactivité avec le logiciel est limitée car le patient ne peut pas effectuer de mouvements amples. L'interactivité se fait donc avec de légers mouvements de tête et l'utilisation de la souris dans le logiciel SnowWorld (**illustration 9 droite**).

Après chaque période de soins, les patients ont été invités à remplir des questionnaires d'évaluation de la douleur basés sur des échelles de 0 à 10 ainsi qu'une échelle basée sur le plaisir éprouvé lors de chaque séance.

Les résultats obtenus lors de cette étude sont encourageants. Lors des soins sans RV, six d'entre eux ont signalé la douleur la plus intense évaluée à plus de 7,6 alors qu'elle est diminuée de près de 41% lors des procédures de soin avec RV. Les patients ont signalé une réduction importante de la douleur pendant les soins sous Réalité Virtuelle. Six patients ont signalé une intensité de la douleur très élevée lors des soins sans Réalité Virtuelle avec des douleurs atteignant 7 à 8 sur l'échelle. Ces derniers ont alors signalé une réduction de 41% de l'intensité de la douleur la plus grave pendant la Réalité Virtuelle.

Néanmoins, aucune analyse statistique significative n'a été réalisée dans cette étude.

Ces résultats sont encourageants mais des recherches plus étendues doivent être effectuées car l'échantillon est trop faible. De plus, le système de Réalité Virtuelle n'a pas été étudié avec diminution de la dose d'antalgiques mais uniquement avec des doses usuelles. La prochaine étape dans l'amélioration et dans la gestion de la douleur est de développer des

mondes virtuels multi-sensoriels, éventuellement adaptés à l'âge, au sexe et à la pathologie du patient.

3) Prise en charge de soins dentaires :

A) Population pédiatrique :

Les soins dentaires sont un véritable problème de santé publique en France et dans le monde car ils sont ressentis par la majorité comme très anxiogènes car potentiellement douloureux. Or pour un bon suivi dentaire et pour éviter l'apparition de lésions carieuses, un suivi dentaire au minimum chaque année est recommandé.

Ce ressenti et cette appréhension de la douleur lors des soins dentaires peut avoir beaucoup de conséquences négatives comme des craintes de consultation des dentistes, des comportements peu coopératifs et un mécontentement du patient à l'égard de ces soins dentaires.

Toutes ces conditions entraînent la réduction des soins de santé préventifs, affectant la santé à vie et des visites régulières chez le dentiste permettraient de prévenir les caries et les problèmes plus graves. Cette hypothèse peut se généraliser à tous les soins de santé en général.

Dans le milieu dentaire les analgésiques sont couramment utilisés pour aider à contrôler la douleur, très souvent administrés localement.

L'anesthésie nécessite une injection dans la mâchoire avec une aiguille et les patients refusent souvent ces soins car ils considèrent l'injection comme douloureuse et/ou l'injection elle-même est crainte. L'utilisation de la Réalité Virtuelle peut potentiellement se faire pendant l'injection de l'analgésique puis être poursuivi pendant l'intervention. L'un des atouts majeurs de la Réalité Virtuelle est qu'il n'y a pas de limites de temps d'utilisation lors du soin.

La distraction par la Réalité Virtuelle peut entamer la capacité d'attention totale du sujet et donc le patient possède moins de capacité à traiter les signaux neuronaux entrants provenant des récepteurs de la douleur, avec pour résultat une expérience de douleur subjective réduite.

L'hypothèse avancée dans cette étude est donc la théorie non pharmacologique, présenté dans la première partie de cette thèse. Le cerveau serait tellement préoccupé par le traitement des informations présentées via la Réalité Virtuelle par la stimulation multi-sensorielle que le patient aurait moins d'attention pour traiter les signaux de douleur entrants. On pourrait alors «s'échapper»

de situations douloureuses.

Étude sur la prise en charge pédiatrique de patients nécessitant des soins dentaires en Réalité Virtuelle:

Une étude pilotée par Atzori, Hoffman et leur équipe intitulée « **Virtual reality Analgesia for pediatric dental patients** » (15) est la première étude à explorer la faisabilité, l'acceptabilité et l'efficacité de la RV immersive pour réduire la douleur pendant les procédures dentaires en pédiatrie.

L'expérience a été menée sur cinq patients âgés de 7 à 17 ans et d'âge moyen 13,20 ans (écart-type 2,39). Sur ces cinq patients, trois hommes (âgés de 11, 12 et 14 ans) et deux femmes (âgées de 12 et 17 ans) ont participé à l'étude.

Dans un premier temps ils ont été soumis à une distraction de Réalité Virtuelle interactive et immersive lors de soins dentaires précis (obturation dentaire simple ou extraction dentaire). Puis chez le même dentiste une semaine plus tard, chaque patient a également subi une intervention dentaire comparable sans expérience de RV. L'ordre de passage a été randomisé pour éviter les biais.

Le matériel utilisé était un casque Oculus Rift VR (**illustration 10**) relié à un système informatique permettant une expérience définie comme hautement immersive dans notre exposée.



Illustration 10: Illustration 10 : Casque Oculus Rift

Le logiciel utilisé est « SnowWorld », utilisé par Hoffman et Patterson et présenté précédemment, un environnement virtuel spécialement conçu pour la gestion de la douleur des patients immobilisés souffrant de brûlures graves au cours d'interventions douloureuses.

Dans le cadre de soins dentaires, ce logiciel est pertinent car l'interactivité avec le logiciel se fait avec une souris permettant une immobilité car les patients devant garder la tête et le corps immobiles pendant la procédure médicale.

Les critères d'inclusion choisis étaient les suivants :

- compréhension de la langue italienne
- possibilité de porter le casque et d'interagir avec l'environnement de Réalité Virtuelle
- aucun handicap physique ou psychologique

Les critères d'exclusion choisis étaient les suivants:

- le besoin d'un autre type d'intervention au cours de la même visite
- patient avec antécédents d'épilepsie ou de mal des transports
- patient non accompagné de ses parents
- plus de 17 ans ou moins de 7 ans

Après chaque procédure de soin, les enfants évaluaient le soin selon plusieurs critères :

- l'intensité de la douleur la plus forte
- le désagrément causé par la douleur en règle générale
- le temps passé à penser à la douleur au cours du soin
- le sentiment de présence dans le logiciel de RV
- le plaisir ressenti
- les nausées ressentis ou autres effets indésirables

Chaque critère a été mesurés à l'aide d'une échelle d'évaluation numérique allant de 0 à 10. Pour se faire, un questionnaire leur a été distribué (**ANNEXE 1**). Les impressions du dentiste ont également été recueillies pour raconter son expérience et évaluer l'intérêt de la Réalité Virtuelle pour les professionnels de santé.

Pour traiter les résultats, des tests t appariés ont été utilisé pour comparer les niveaux de douleur, de nausée et de divertissement entre la condition «Pas de Réalité Virtuelle» (ou condition de contrôle) et la condition expérimentale avec le dispositif de Réalité Virtuelle. Un chercheur non impliqué dans la collecte de données a analysé les données à l'aide du logiciel statistique SPSS 23 afin d'éviter les biais de traitement.

Les résultats ont été jugés significatifs lorsqu'ils étaient associés à des p-value inférieures à 0,05 à l'aide de tests t appariés à deux queues.

	Sans RV	Avec RV
Désagrément douloureux moyen	2,4 (SD=1,52)	0,6 (SD= 0,55)
Douleur la plus importante	3,8 (SD=2,59)	2,2 (SD= 1,79)
Temps passé à réfléchir à la douleur	2,6 (SD= 1,95)	1,0 (SD= 1,00)

Un seul patient n'a montré aucune réduction de la douleur en l'absence et pendant la Réalité Virtuelle, les quatre autres patients ont tous signalé une réduction de la douleur pendant la Réalité Virtuelle. Les résultats des différents paramètres ont été répertoriés dans le tableau ci-dessus.

Lors des conditions de Réalité Virtuelle, la réduction était significative de 42% de leur douleur la plus intense, la réduction était significative de 75% du «désagrément de la douleur» et on observe un accroissement significatif de 61% de leur degré de divertissement au cours de l'intervention.

Le «désagrément douloureux moyen» en l'absence de Réalité Virtuelle était supérieur à celui observé avec la RV.

La «douleur la plus importante» moyenne était également plus élevée lors de l'absence de Réalité Virtuelle que celle observée pendant la Réalité Virtuelle.

La différence dans le «temps passé à réfléchir à la douleur» n'était pas statistiquement significative ($p= 0,08$) mais les patients semblaient avoir passé plus de temps à réfléchir à leur douleur pendant l'absence de RV.

Concernant les caractéristiques autres que celles associées directement à la douleur, la présence moyenne dans le logiciel de Réalité Virtuelle était de 7,40 (SD=2,70) correspondant à «une forte impression d'entrer dans le monde généré par l'ordinateur».

Ce fort sentiment de présence dans le monde virtuel est un atout majeur car nous avons vu précédemment qu'il était corrélée à l'efficacité de la diminution du ressenti douloureux.

Concernant les effets indésirables ressentis, les scores moyens de nausée ont été considérés comme négligeables dans les deux conditions (<1).

Le dentiste considérait quant à lui la Réalité Virtuelle comme une technique de distraction efficace, en particulier pour les patients souffrant d'anxiété élevée.

En conclusion, ces résultats sont très encourageants dans la réduction de la douleur lors de la prise en charge de soins dentaires ce qui pourrait augmenter la motivation des patients et donc l'observance de ce type de soins car le dispositif est considéré comme divertissement pour les enfants (effet de nouveautés important).

Le problème important et soulevé par le professionnel de santé est que le logiciel utilisé lors de cette étude. « SnowWorld » est un logiciel développé pour des patients atteints de brûlures importantes.

La nécessité d'un nouveau logiciel de Réalité Virtuelle avec un environnement plus «chaud» car il craignait que l'illusion de sensations froides ne provoque des douleurs chez certains patients (patients sensibles au froid ou de sensibilité dentaire).

En conclusion de l'étude, ces recherches ont donc suggéré d'étendre l'utilisation de la prise en charge de la douleur par la RV aux patients adultes car elle entraîne une diminution du ressenti douloureux et une augmentation du divertissement dans une population pédiatrique. Bien que ses résultats soient encourageants, cette étude possède certaines limites. La première étant l'absence d'objectivité de l'étude, aucune mesure physiologique n'ayant été utilisée.

De plus, la taille de l'échantillon n'était que de cinq patients donc la variabilité était potentiellement importante, il y a un problème de pertinence qui ne permet pas de valider scientifiquement et statistiquement les résultats de l'étude.

C'est donc une voie prometteuse de la Réalité Virtuelle en tant que technique de distraction car la popularisation des dispositifs et l'augmentation du nombre de logiciels de RV favorise son accessibilité. Des recherches futures sont nécessaires pour déterminer si la RV présente des avantages à long terme pour améliorer l'attitude des enfants à l'égard des visites chez le dentiste et si elle peut améliorer l'attitude des enfants envers les soins de santé en général.

La Réalité Virtuelle pourrait alors résoudre un problème de santé publique important qu'est la réduction des visites préventives de soins dentaires.

B) Population adulte :

Les interventions dentaires sont également dans la population adulte une source majeure d'anxiété et de refus de soins liés à la peur de la douleur. Malgré les progrès des technologies dentaires et des traitements, de nombreuses personnes évitent ou retardent encore les soins dentaires par peur de la

douleur. Le plus souvent, les analgésiques sont la solution principale pour soulager la douleur mais ils sont souvent peu efficaces et peuvent se révéler parfois traumatisants pour le patient. Certaines études ont donc tenté de réduire l'utilisation de ces médicaments lors de procédures dentaires préventives ou curatives.

Étude sur la prise en charge de patients en Réalité Virtuelle lors d'un protocole de soin dentaire avec mesures objectives:

Une étude intitulée « **Clinical Use of Virtual Reality Distraction System to Reduce Anxiety and Pain in Dental Procedures** » (16) par Mark D. Wiederhold a examiné l'utilisation de la Réalité Virtuelle comme forme de distraction pour les patients en soins dentaires en utilisant des mesures subjectives et objectives pour déterminer comment un système de Réalité Virtuelle affecte le niveau de douleur et les facteurs physiologiques rapportés par les patients.

Des mesures objectives augmentent la pertinence scientifique de l'étude dans la réduction de l'inconfort et de la douleur des patients.

La perception de la douleur a une forte composante psychologique et est très subjective. Le principe de l'étude était ici d'encourager le patient à concentrer son attention sur d'autres pensées (scène de Réalité Virtuelle), et de prêter le moins d'attention possible à la procédure dentaire. Pour se faire, la création d'environnements spécifiques permet d'encourager l'immersion dans le monde virtuel et d'améliorer la distraction de la douleur.

D'autres études avec des populations adultes ont déjà démontré que les patients sous thérapie classique ont signalé moins de douleur lors de la prise en charge par de la Réalité Virtuelle.

Spécifiquement dans les soins dentaires, une autre étude clinique a déjà montré que les patients subissant l'élimination de la plaque dentaire au-dessous de la ligne gingivale observaient une réduction importante du ressenti de la douleur lors de l'utilisation de la Réalité Virtuelle par rapport aux participants qui ont regardé un film (distraction classique) et aux participants qui n'avaient aucun type de distraction.

Afin d'évaluer l'efficacité de l'utilisation de la Réalité Virtuelle dans cette étude, plusieurs paramètres ont été examinés : une enquête patient subjective afin de recueillir le ressenti du patient et des mesures physiologiques objectives pour évaluer la peur et la douleur avant et après la procédure de soin dentaire. De nombreux instruments d'auto-évaluation mesurant divers aspects du

niveau sensoriel, affectif et évaluative des composants de la douleur ont été utilisés.

Cette étude intègre à la fois des variables subjectives et objectives pour déterminer un moyen plus efficace de mesurer et réduire la douleur. La mesure de la fréquence cardiaque et la pression artérielle du patient a été effectuée tout au long du traitement à l'aide d'un moniteur numérique afin de mesurer les valeurs physiologiques objectives de la douleur.

Cinq patients adultes ont été recrutés pour l'étude sur la base du volontariat. Ces procédures de soin dentaires ont été effectuées à la Scripps Center for Dental Care à La Jolla, CA (Dr. John F. Weston, D.D.S.).

Ils ont d'abord rempli une l'échelle d'anxiété dentaire et de quantité de peur avant la procédure. L'échelle d'anxiété dentaire comprenait quatre éléments. Ce questionnaire posait des questions sur la peur des traitements dentaires afin d'évaluer l'influence de ce dernier sur le ressenti douloureux.

Un second questionnaire post-expérience a été créé par les enquêteurs pour évaluer les préférences de traitement des patients et les effets de le système de distraction de réalité virtuelle.



Illustration 11: Protocole de soin dentaire lors de la prise en charge par la Réalité Virtuelle

Le dispositif utilisé est un casque de RV (**illustration 11**) définie comme de haute immersion dans notre thèse. Il est associé à un système informatique et un dispositif de biofeedback (mesure des fonctions organiques) Procomp + de Thought Technology a été utilisé pour évaluer les mesures physiologiques. Il mesure l'électromyogramme (EMG), la température, la réponse galvanique de la peau (GSH ou conductance de la peau), l'électroencéphalogramme (EEG), la variabilité de la fréquence cardiaque et la respiration par le biais de sept capteurs aux doigts, abdomens et bras des patients.

Avant de commencer le traitement, les patients ont terminé les questionnaires pré-procédure. L'équipe de recherche a également enregistré des informations démographiques, la date du dernier traitement dentaire et des détails concernant la procédure de traitement dentaire.

Le clinicien a effectué le traitement dentaire sans utiliser de système de distraction de RV pendant cinq minutes puis a exécuté avec l'utilisation du système de distraction de RV pendant cinq minutes.

Chaque patient a donc reçu les deux conditions de l'étude.

L'environnement virtuel est constitué de mondes naturels relaxants où les patients peuvent naviguer à travers des plages, forêts, montagnes et d'autres zones agréables. La possibilité de navigation a été développée pour fournir au patient un sentiment supplémentaire de contrôle, d'activité afin de davantage le stimuler.

L'évaluation des résultats s'est faite par le calcul des différences pré et post autoévaluation dans les deux conditions de traitement avec un test t. Pour la première partie du questionnaire d'autoévaluation, la p-value était de 0,56.

La seconde partie a une p-value de 0,1875 (sauf les données du patient 5, la valeur 8 étant une valeur aberrante), ce qui soutient que l'utilisation de la Réalité Virtuelle est une méthode de distraction qui a diminué l'appréhension des patients. La diminution de l'anxiété entraîne une diminution de l'appréhension et donc du ressenti de la douleur par le patient.

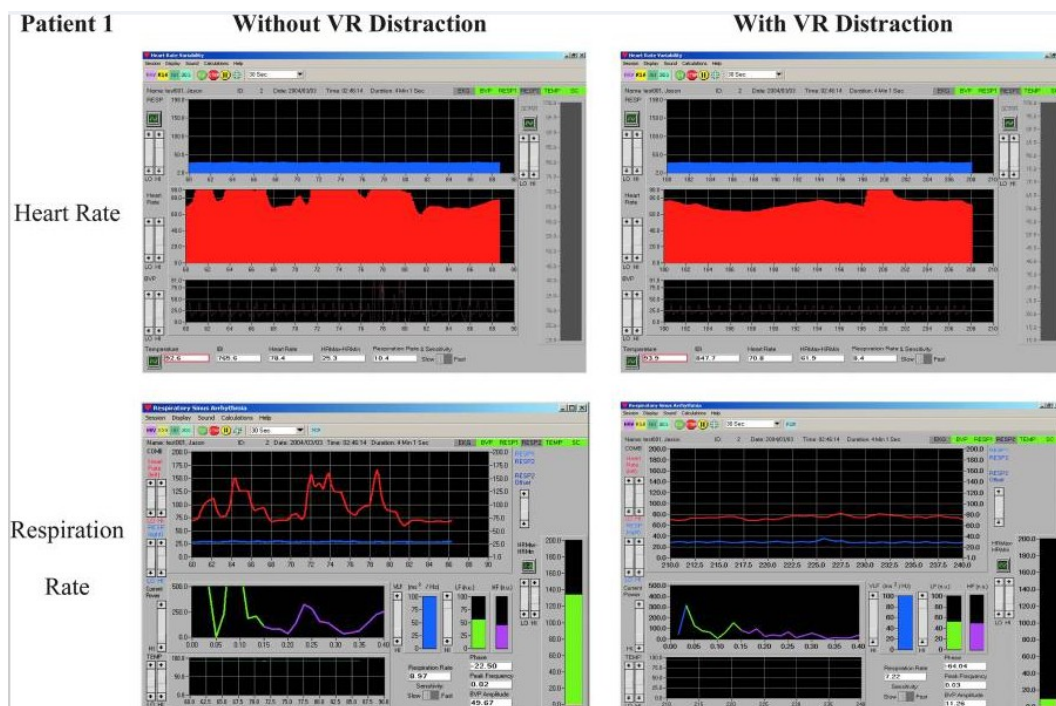


Illustration 12 : Fréquence Cardiaque et Respiratoire du patient 1 en condition de contrôle et en condition de Réalité Virtuelle

Une analyse des mesures physiologiques objectives (fréquence du cœur et respiratoire) a été effectuée et plusieurs effets significatifs ont été démontrés (illustration 12).

La variabilité de la fréquence cardiaque se compose de trois paramètres principaux:

- la composante haute fréquence (HF) (0,15–0,40 Hz) qui mesure l'influence du nerf vague dans la modulation du nœud sino-auriculaire.
- la composante basse fréquence (LF) (0,04–0,15 Hz) qui mesure les effets sympathiques sur le cœur.
- la composante très basse fréquence (VLF) (0,003–0,04 HZ) qui mesure l'influence des chimiorécepteurs, des thermorécepteurs, du système rénine-angiotensine etc..

STATISTICAL VARIABLE DEFINITIONS AND ABBREVIATIONS

SDNN	Standard deviation on the NN intervals (NN=normalized R to R=normalized IBI)
VLF	Power in the VLF bandwidth (0.0033–0.04 Hz)
LFN	Power in the LF bandwidth (0.04–0.15 Hz), in normalized unit
HFN	Power in the HF bandwidth (0.15–0.4 Hz), in normalized unit
LF/HF	Ratio LF/HF
Total Power	Total power in the 0.0033–0.4 Hz bandwidth
AvgMM	Average HR Max–HR Min value
AvgHR	Average heart rate
AvgBR	Average respiration (breathing) rate
AvgTM	Average temperature

Illustration 13 : Abréviations utilisées

	<i>SDNN</i>	<i>VLF</i>	<i>LFN</i>	<i>HFN</i>	<i>LF/HF</i>	<i>POWER</i>
Patient 1	322.91	12,726.91	56.46	43.54	1.3	32,431.2
Patient 2	119.85	905.51	36.18	63.82	0.57	3,069.24
Patient 3	194.59	1,514.26	49.41	50.59	0.98	6,206.21
Patient 4	149	508.68	33.17	66.83	0.5	1,885.13
Patient 5	116.04	1,613.61	44.59	55.41	0.8	5,730.46
Mean	180.478	3,453.794	43.962	56.038	0.83	9,864.448

Tableau 6 : Statistiques des données ECG lors des conditions de contrôle

	<i>SDNN</i>	<i>VLF</i>	<i>LFN</i>	<i>HFN</i>	<i>LF/HF</i>	<i>POWER</i>
Patient 1	350.46	7,080.83	54.97	45.03	1.22	34,153.53
Patient 2	54.07	385.69	73.41	26.59	2.76	947.02
Patient 3	71.6	394.2	59.78	40.22	1.49	1,518.05
Patient 4	116.61	2,095.33	60.1	39.9	1.51	2,525.88
Patient 5	81.59	739.1	46.39	53.61	0.87	1,166.04
Mean	134.866	2,139.03	58.93	41.07	1.57	8,062.104

Tableau 7: Statistiques des données ECG lors des conditions expérimentales de Réalité Virtuelle

L'augmentation moyenne de la bande de fréquences LF (**tableau 6 et 7**) indique très probablement l'efficacité de la distraction de la Réalité Virtuelle pour réduire l'anxiété et donc le ressenti douloureux. On observe également une diminution globale de l'activité cardiaque dans les conditions expérimentales de Réalité Virtuelle ce qui traduit une diminution de l'anxiété et donc une potentielle réduction du ressenti douloureux.

En conclusion, les résultats physiologiques objectifs suggèrent que l'utilisation de la distraction par la Réalité Virtuelle peut être un complément efficace dans les cabinets dentaires pour aider à réduire l'anxiété et la douleur pour effectuer les procédures dentaires de routine. Ces environnements virtuels permettent aux patients de se détendre en naviguant vers un monde virtuel immersif.

Seconde étude sur la prise en charge de patients en Réalité Virtuelle lors d'un protocole de soin dentaire avec mesures objectives et subjectives:

Prenons le cas de la parodontite, une maladie inflammatoire chronique affectant la gencive, le ligament parodontal et l' os autour des dents, se caractérisant par la résorption osseuse et la formation de poche parodontale.

Cette affection dentaire est traitée par le surfaçage radiculaire (SRP) qui est le traitement essentiel. Il consiste en le retrait de la plaque dentaire au niveau gingival. C'est un processus douloureux pouvant nécessiter des anesthésiques et/ou des sédatifs en fonction des patients.

Plusieurs méthodes alternatives ont déjà été étudiées comme l'utilisation de techniques de distraction, telles que regarder des films, écouter de la musique et jouer à des jeux vidéo afin réduire

la douleur lors de cette procédure dentaire.

La Réalité Virtuelle immersive pourrait permettre de ressentir moins de douleur lors de ces procédures que lors des méthodes alternatives de distraction classique comme jouer à un jeu vidéo.

C'est pourquoi Hoffman et ses collègues ont travaillé dans leur étude intitulée « **The effectiveness of Virtual Reality for dental pain control: A case study** » (17) si l'analgésie par la RV pouvait réduire la douleur lors du traitement parodontal de deux patients âgés de 51 et 56 ans. Les études de RV susmentionnées suggèrent que la RV immersive pourrait être un analgésique non pharmacologique viable dans ces traitements dentaires chez l'adulte.

Ils ont alors mené cette étude pour évaluer l'effet analgésique de la Réalité Virtuelle immersive pendant la procédure de SRP. Les objectifs spécifiques étaient de déterminer s'il existait des différences de niveau de douleur et de signes vitaux tels que le pouls ou pression artérielle systolique et diastolique entre les patients d'un groupe témoin sans Réalité Virtuelle et ceux des groupes expérimentaux de distraction. Ces résultats ont permis la détermination de l'éventuelle préférence des patients pour l'une des méthodes de distraction ou pour la condition de contrôle.

Le recrutement avait pour objectif des adultes atteints de parodontite légère, modérée ou sévère qui avaient besoin d'un SRP sur les quatre quadrants. Ce SRP a été effectué par des étudiants dentaires et des membres du corps professoral lors d'un examen clinique initial ou d'un examen de routine à la clinique principale de la faculté de médecine dentaire de l'Université Case Western Reserve (CWRU) de Cleveland. Les participants ont pu bénéficier de ce SRP gratuitement.

Les critères de sélection étaient les suivants :

- une bonne santé physique et mentale
- la capacité de comprendre les instructions orales et écrites
- la capacité à utiliser une souris à déclenchement par le doigt
- une détermination d'un bon état général basée sur l'historique médical, le bon contrôle de la pression artérielle et du diabète
- des critères dentaires supplémentaires de 5 dents minimum par quadrant et ou plusieurs sites

dans chaque quadrant avec une profondeur de poche parodontales de 4 millimètres ou plus

Dans cette étude, trois protocoles différentes ont donc été étudiées :

- le traitement classique de SRP sans aucune distraction, ou condition de contrôle
- la distraction immersive avec Réalité Virtuelle
- la distraction classique non immersive avec le visionnage d'un film

Les trois procédures de SRP (toutes les 20 minutes) ont été testé chez chaque patient. Un assistant dentaire a arbitrairement attribué l'ordre des conditions de traitement (contrôle, réalité virtuelle et film), ainsi que le quadrant (maxillaire droit, maxillaire gauche, mandibulaire droite, mandibulaire gauche) pour chaque patient.

Afin que le dentiste ne puisse pas identifier quelle condition de traitement (film, Réalité Virtuelle, contrôle) était en opération, les patients portaient le même type de lunettes et de couvre-chef pendant toutes les différentes procédures de SRP.

A la fin du traitement, l'assistante dentaire a demandé aux patients d'identifier laquelle des trois conditions de traitement ils ont préféré et a enregistré leurs réponses dans leur dossier médical. Des questionnaires d'auto-évaluation rétrospectifs ont été distribué aux patients. Les patients ont évalué leur pire douleur, leur douleur moyenne et le temps qu'ils ont consacré à penser à leur douleur pendant la séance à l'aide d'échelle analogique de la douleur allant de 0 à 10, l'un des outils de mesure de la douleur les plus couramment utilisés. La présence dans l'environnement de Réalité Virtuelle ou dans le film a également été évalué. Le choix de cet instrument a été fait parce qu'il est facile à utiliser, qu'il est valide et fiable et qu'il a déjà été utilisé dans des études antérieures pour évaluer la douleur pendant le traitement parodontal et pour évaluer l'effet analgésique de la distraction de la Réalité Virtuelle.

L'évaluation de la douleur s'est faite selon plusieurs critères :

- temps passé à réfléchir à la douleur
- désagrément de la procédure
- inconfort des dents et gêne
- douleur la plus intense

- douleur moyenne après chacune des trois conditions de traitement

Trois questions supplémentaires pour les deux méthodes de distraction concernant les nausées ressenties pendant la Réalité Virtuelle ou pendant le film et la perception de faire partie du monde virtuel ou du film ainsi que la perception de la réalité des objets dans le monde virtuel ou du film.

Le logiciel utilisé était le logiciel « Snowworld », très couramment utilisé dans les expériences de Réalité Virtuelle immersive.

Le premier patient a passé 2,5 minutes dans chacune des trois conditions de traitement. Le second patient a passé 5 minutes dans chaque condition de traitement.

La reproductibilité des réponses au score de douleur pourrait être testée en répétant les procédures SRP et en administrant le questionnaire de douleur dans les mêmes conditions (contrôle, film, RV) quelques semaines plus tard mais cela n'a pas été effectué dans cette étude.

Les résultats ont ensuite été examinés (diagramme 4).

Concernant le premier patient, on observe que le temps passé à penser à la douleur est inchangé entre la condition de contrôle et la condition de distraction classique (8/10). En revanche elle n'est que de 3/10 lors de la condition de Réalité Virtuelle immersive. L'inconfort ressenti a été évalué à 7/10 lors des conditions de contrôle et lors de la condition « film » alors qu'elle n'est que de 1/10 lors de la condition de Réalité Virtuelle. Concernant douleur moyenne ressentie par le premier patient, elle est également identique entre la condition de contrôle et la condition de film (6/10) alors qu'elle n'est que de 1/10 pour la condition de Réalité Virtuelle.

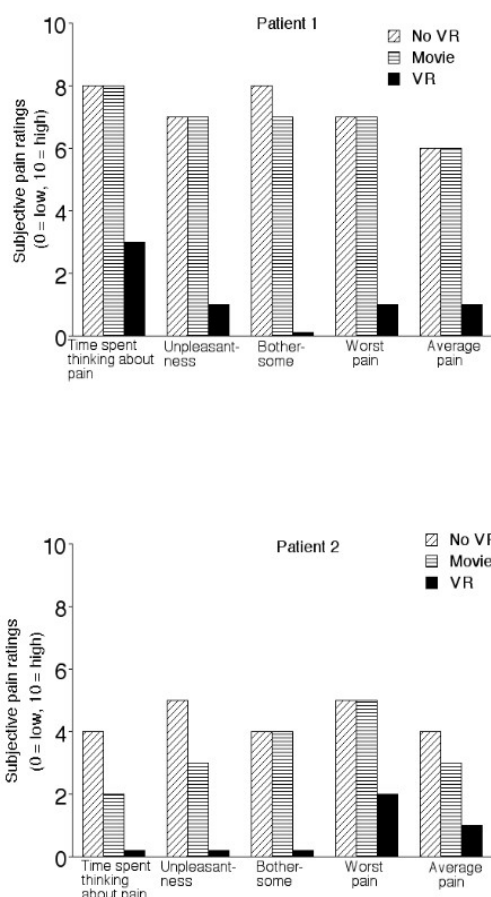


Diagramme 4 : Résultats des différents paramètres de la douleur chez les patient 1 et 2 lors des procédures de SRP dans les différentes conditions de protocole

Concernant le second patient on observe que ses scores de la douleur sont nettement inférieurs à ceux du patient 1.

En effet, le temps passé à penser à la douleur pour ce second patient a été évalué à 4 pour la condition de contrôle, 2 pour la condition de film et 0 pour la condition de Réalité Virtuelle. L'inconfort ressenti a été évalué à 5 pour la condition de contrôle, 3 pour la condition de film et 0 pour la condition de Réalité Virtuelle. Enfin la douleur moyenne était de 4 pour la condition de contrôle, 3 pour la condition de film et 1 pour la condition de Réalité Virtuelle.

La différence entre les résultats de ces deux patients peut s'expliquer par le fait que le premier patient avait un terrain plus anxieux et plus craintif de la procédure dentaire que le second patient. En effet des questionnaires pré-procédures ont été distribués à ces deux patients afin d'évaluer l'intensité de leur anxiété. Le patient 1 exprimait une crainte plus importante que le patient 2 à l'égard des procédures dentaires.

On observe néanmoins chez ces deux patients une nette diminution du ressenti de la douleur dans les conditions de Réalité Virtuelle alors qu'il reste inchangé ou peu changé dans les conditions de distraction classique.

Aucun effet indésirable tel que les nausées n'ont été déclarés chez ces deux patients, le logiciel étant étudié pour éviter aux maximum ces derniers. Le sentiment de présence dans le logiciel de réalité virtuelle et son réalisme ont permis aux patients une meilleure immersion. La Réalité Virtuelle et la condition de distraction classique du film différaient en ce qui concerne la capacité du patient à voir le monde extérieur. En regardant le film, les patients pouvaient toujours voir le monde réel et la procédure dentaire alors qu'ils ne pouvaient plus le voir dans les conditions de Réalité Virtuelle.

En conclusion, bien qu'encourageante, nous ne pouvons tirer de conclusion scientifique de cette étude compte tenu de la petite taille de l'échantillon qui rend obsolète tout calcul statistique. L'étude devra être généralisée à une population plus importante pour une meilleure pertinence statistique. De plus, il serait primordial afin d'éviter les biais dans une future d'effectuer celle-ci en double aveugle. Cela permettrait d'éviter certains biais d'évaluation subjective liés aux convictions des deux parties. Il existerait probablement un biais dû à l'âge des participants. Cette technologie qu'est la Réalité Virtuelle est appréhendée de manière différente selon les générations ayant grandi ou non avec des outils numériques. Ainsi, il pourrait exister une différence de réceptivité à ces technologies.

La reproductibilité de l'étude devra être testée sur plusieurs séances et sur des séances de plus longues durées afin de déterminer si le dispositif observe une diminution de l'efficacité au cours du temps.

Il serait intéressant de d'évaluer si la prise en charge de ces soins dentaires par des dispositifs de Réalité Virtuelle permet dans l'avenir d'augmenter la fréquence des visites chez le dentiste des patients évitant initialement les soins.

IV) Études concernant l'utilisation de la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de la douleur lors d'une maladie ou d'une affection chronique :

1) Prise en charge de douleurs récidivantes:

A) Population pédiatrique et maux de têtes chroniques:

Les maux de têtes chez les enfants sont des plaintes très fréquentes et cela concernerait près de 60% des enfants. Ces maux de tête peuvent être bénins ou associés à d'autres facteurs de comorbidités.

De plus, les traitements afin de les traiter sont limités dans le domaine pédiatrique . Le problème est que la surconsommation de type antalgiques/analgésiques est très fréquent et a un impact sur la qualité de vie des patients. C'est pourquoi les traitements non pharmacologiques tels que la Réalité Virtuelle sont étudiés et encouragés. A l'heure actuelle le biofeedback et l'imagerie guidée sont les traitements de référence non pharmacologiques dans le traitement des maux de tête et des migraines.

Le biofeedback est basé sur les émotions et les pensées qui auraient un impact sur les fonctions de l'organisme. L'imagerie guidée quant à elle consisterait à stimuler l'imagination du patient pour permettre le soulagement des symptômes.

Étude sur la prise en charge pédiatrique des maux de tête en Réalité Virtuelle :

Une étude de Shimon Shiri de son équipe intitulée «**A Virtual Reality System Combined with Biofeedback for Treating Pediatric Chronic Headache—A Pilot Study**» (18) a cherché à combiner ces deux méthodes non pharmacologiques à un dispositif de Réalité Virtuelle. La Réalité Virtuelle serait un dispositif très intéressant car le problème de l'imagerie guidée est qu'il est parfois difficile de suggérer des images aux patients qui ont des difficultés de représentation.

L'hypothèse émise est que la capacité de détente amenée par la Réalité Virtuelle et le fait de se voir dans un état sans mal de tête permettrait à l'enfant de mieux faire face à ses migraines et leurs conséquences.

L'étude est une étude prospective en simple aveugle menée dans une clinique pédiatrique neurologique. Les patients sélectionnées étaient des patients aux maux de têtes chroniques et en bonne santé par ailleurs. Leur pharmacothérapie habituelle s'est poursuivie pendant toute la durée

de l'étude (Paracétamol, AINS, Triptans ou Amitriptylline).

Dix patients ont été sélectionnés âgés de 10 à 17 ans avec un âge moyen de $13,4 \pm 2,7$ ans. Quatre d'entre eux souffraient de céphalées de tension chronique (CTC) et six d'entre eux de migraines chroniques (MC).

La migraine est un mal de tête pulsatile précédée d'une aura (perte de vision, engourdissements, etc) ou sans signe précurseur. Elle est aggravée par l'activité physique et peut être accompagnée de nausées, d'intolérance au bruit ou à la lumière.

Les céphalées de tension sont le plus souvent des pressions uni ou bilatérales au niveau de la tête. A la différence de la migraine, la céphalée n' est pas aggravée par l'activité physique.

Le groupe était composé de 7 garçons pour 3 filles dont la première apparition de symptômes dataient de 3 mois à 66 mois avec une durée moyenne de $29,1 \pm 21,8$ mois. Chez ces patients, les traitements pharmacologiques réduit la durée du mal de tête à une moyenne de 6 heures contre 19 heures sans traitement, mais ne change pas leurs fréquences. L'acétaminophène, les anti-inflammatoires non stéroïdiens ou les triptans sont utilisés par ces patients en moyenne 16 jours par mois, soit plus de la moitié du mois.

Les critères d'exclusion choisis pour l'étude étaient les suivants :

- déficience intellectuelle
- affections chroniques diverses
- problèmes psychiatrique.

Le dispositif comprenait un ordinateur doté du système « ProComp Infiniti » de Thought Technology. Ce système permet d'enregistrer des données physiologiques objectives à l'aide d'électrodes qui suivent la réponse galvanique du patient. L'affichage était un ensemble d'images acquises lors de la réunion d'introduction représentant un panel d'images de différentes expressions faciales permettant d'avoir un spectre complet d'états émotionnels. Lors de dix séances le but était de regarder leur propre visage à différentes phases sur l'écran et d'essayer de se détendre. La durée de la séance était variable selon les capacités du patient mais pouvait aller jusqu'à 30 minutes. Le but ici est de réaliser le même procédé de relaxation chaque fois que le patient se plaint de céphalées.

Ce système se distingue des autres systèmes de Réalité Virtuelle car il affiche une image à la troisième personne du patient lui-même, contrairement à la plupart des autres systèmes de Réalité Virtuelle qui offrent une perspective à la première personne. On peut ajouter que cette image n'est pas un avatar graphique mais une image réaliste basée sur une photographie de l'utilisateur.

L'évaluation de la douleur s'est faite à l'aide de l'échelle visuelle analogique (EVA) de la douleur graduée de 0 à 10 dans la semaine suivant le protocole. La qualité de vie a également été évaluée avec l'inventaire de la qualité de vie chez les enfants (PedsQL™) mis au point par le Dr James W. Varni. Les patients se sont également exprimés sur leur satisfaction à la suite de l'étude et sur leur ressenti global. Chaque résultat a été collectés avant l'étude, après l'étude, un mois puis trois mois plus tard.

L'étude s'est déroulée sur dix séances. Tous les participants sont allés au bout de l'étude excepté l'un d'entre eux (12 ans) qui estimait que le dispositif n'était pas suffisamment efficace. Les deux questions suivantes ont été posées aux patients :

- À quel point vos maux de tête sont ils limitant dans votre vie quotidienne ?
- En moyenne, à quel point vos maux de tête étaient ils importants la semaine passée ?

On observe une amélioration significative avant et après l'intervention pour la première question ($p < 0,05$) et presque significative pour la seconde question ($p = 0,068$) pour un seuil de significativité de 0,05.

Concernant les résultats du PedsQL, on peut observer une amélioration de la qualité de vie avant et après l'intervention.

Aucune différence n'a été relevée entre les patients souffrant de migraine et les patients souffrant de céphalées de tension. Néanmoins étant donné la petite taille de l'échantillon, la possibilité de détecter les différences entre ces deux échantillons reste limitée. L'analyse des résultats s'est faite selon des tests non paramétriques car l'échantillon de patients est trop faible et les échelles utilisées également.

À la suite de cette étude, les patients ont signalé une diminution importante de l'importance des maux de tête et une amélioration de leur fonctionnement quotidien et de leur qualité de vie.

B) Population adulte et douleurs ostéo-articulaires chroniques :

La lombalgie est un problème de santé publique important de ce XXIème siècle concernant 80% de la population. Elle se définit couramment comme un “mal de dos” et se caractérise par une douleur au niveau des vertèbres lombaires. Elle peut être aiguë (< 6 semaines) ou chronique (> 6 semaines). Elle a également un enjeu économique car elle est à l’origine de nombreux arrêts professionnels et de nombreux handicaps.

Le traitement utilisé actuellement consiste en des exercices physiques répétés afin de favoriser la rééducation. Certains patients douloureux restent réticents et réfractaires à ces exercices car la douleur induite est un frein à la réhabilitation et considérée par le patient comme un signal négatif.

L’utilisation de la Réalité Virtuelle immersive est alors un moyen de distraire ces patients de la douleur pour leur permettre de réaliser ces exercices plus efficacement et presque inconsciemment.

De plus, avec la popularisation de ces dispositifs de Réalité Virtuelle, elle peut potentiellement être installée au domicile du patient afin d’améliorer l’observance et la fréquence de ces exercices.

Étude sur la prise en charge des douleurs lombaires en Réalité Virtuelle :

Lors d’une étude de Alazba, Al-Khalifa et Alsobayel intitulée **“RabbitRun: An Immersive Virtual Reality Game for Promoting Physical Activities Among People with Low Back Pain”** (19), l’utilisation de la Réalité Virtuelle immersive a été évaluée dans la prise en charge des lombalgies chez l’adulte.

Le matériel utilisé se veut facile d’accès pour qu’il puisse être transporté facilement et que les exercices puissent être réalisés à la maison. Ainsi il ne nécessite que l’utilisation d’un smartphone et d’un casque de Réalité Virtuelle. L’immersion est donc définie comme moyenne compte tenu des critères de notre thèse.



Figure 3. Gameplay du jeu RabbitRun.

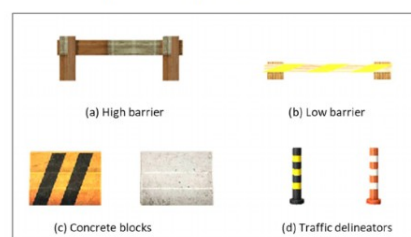


Figure 4. Obstacles du jeu RabbitRun.

Illustration 13: Affichage du logiciel Rabbitrun

Le jeu se compose de plusieurs modes et de plusieurs paramètres de jeu, en fonction des besoins du patient. Le scénario du jeu se déroule dans un village où le patient contrôle un lapin qui se promène à proximité du village (**illustration 13**). L'exercice consiste à éviter les obstacles et à collecter des pièces disséminées sur le chemin. Les éléments surgissent de manière dynamique ce qui encourage l'excitation et l'attention du joueur afin de le détourner de la douleur.

Plusieurs exercices permettent d'éviter les obstacles : la flexion du tronc en avant, l'extension du tronc en arrière, la flexion latérale et la rotation du tronc (**illustration 14**). Plusieurs niveaux de difficultés régulent l'amplitude du mouvement demandé et donc l'efficacité de l'exercice.

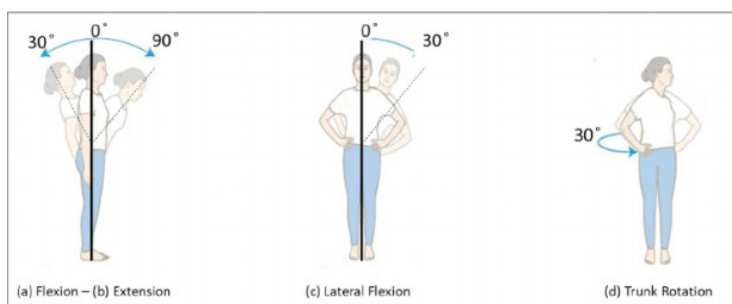


Illustration 14: Les quatre exercices réalisés dans le logiciel Rabbitrun

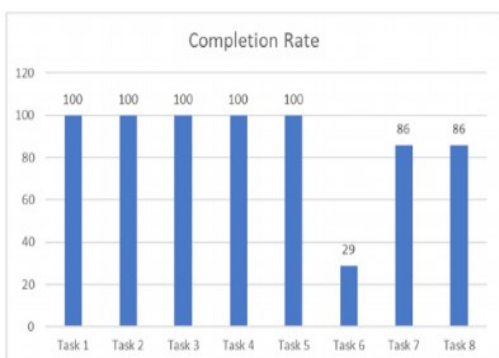


Figure 8. Taux de réalisation des tâches.



Figure 9. Nombre moyen d'erreurs par tâche.

Diagramme 5 : Taux de réalisation des différents exercices et nombre d'erreurs

Pour ces essais sept participants en bonne santé ont été recrutés à l'Université King Saud.

Ce groupe était constitué d'étudiants, uniquement des femmes âgées de 22 à 24 ans. Certaines des participantes avaient déjà joué à des jeux dits "cinétiques" mais jamais en Réalité Virtuelle.

Les résultats de cette étude montre que les exercices demandés aux participantes demandent un niveau de sollicitation intense du tronc.

Le taux d'achèvement de chaque tâche ainsi que le nombre d'erreurs faites ont été analysés (**diagramme 5**). Toutes les participantes ont terminé les cinq premières tâches mais seules six participantes ont terminé correctement la tâche 7 et la tâche 8 qui s'effectuaient

avec des exercices d'inclinaison latérale et de rotation du tronc. La tâche 6 quant à elle consistait en des exercices d'extension de la flexion du tronc. Seulement deux participantes ont pu terminer la tâche.

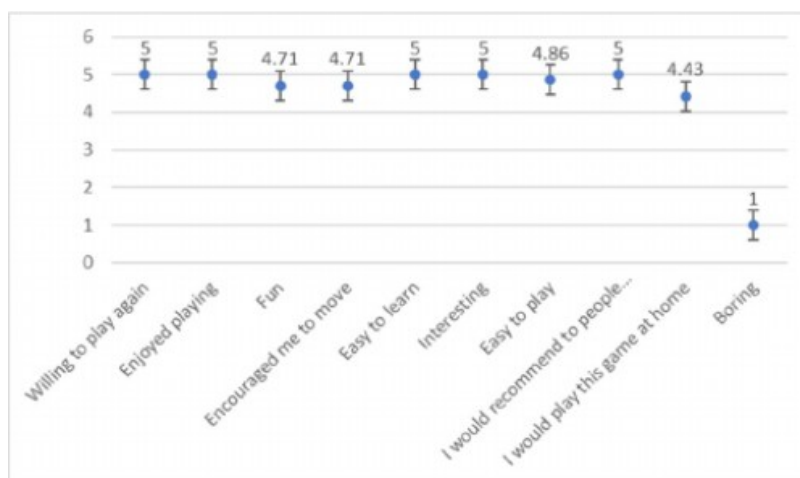


Diagramme 6 : Notes des participantes sur l'expérience de jeu (1 = fortement en désaccord, 2 = en désaccord, 3 = neutre, 4 = d'accord, 5 = fortement d'accord)

L'enquête sur l'expérience de jeu (**diagramme 6**) a révélé que les participantes avaient aimé jouer à ce jeu. La majorité des participantes étaient prêtes à rejouer au jeu et même à le faire chez elles. Le jeu les a motivées à bouger et elles le recommanderaient fortement à des personnes souffrants de lombalgie.

Les participants ont également été invitées à répondre à quelques questions ouvertes pour suggérer des améliorations générales sur le logiciel. La majorité des participantes étaient disposés à jouer à nouveau en cas de douleurs lombaires et même à effectuer les exercices à leur domicile car il les incitait à bouger.

Cette étude montre que ces exercices seraient un moyen ludique de lutter contre les lombalgies mais nécessite une expertise plus poussée avec des études de plus grande envergure.

En effet, les individus sélectionnés n'étaient que des femmes jeunes et en bonne santé, sans expérience de Réalité Virtuelle. L'échantillon était de petite taille donc la pertinence statistique est très faible, c'est pourquoi les calculs statistiques n'ont pas été réalisés. Elle ne permet donc pas d'affirmer l'efficacité du dispositif sur de réelles lombalgies mais permet d'ouvrir une perspective d'études complémentaires avec des résultats encourageants et innovants.

2) Prise en charge des patients en oncologie :

A) Population pédiatrique :

Depuis plusieurs années, différentes équipes de recherche testent la Réalité Virtuelle immersive pour distraire et gérer la douleur dans les douleurs chronique et d'origine cancéreuse. La Réalité Virtuelle s'est révélée efficace dans de nombreuses études pendant le traitement de chimiothérapie pour réduire la douleur et l'anxiété. Dans la majorité des résultats d'étude la Réalité Virtuelle a amélioré le bien-être émotionnel des patients, a diminué les symptômes psychologiques et les douleurs liés au cancer. Parmi toutes ces recherches, peu d'entre elles sont axées sur des patients pédiatriques qui subissent un traitement de chimiothérapie. De plus la plupart de ces études utilisent des jeux vidéo commerciaux à des fins de distraction et non des logiciels spécifiquement étudiés pour la distraction de la douleur dans un environnement spécifique ni pour une population de patients pédiatrique.

Étude de la conception et du développement d'un logiciel de Réalité Virtuelle en vue d'une prise en charge des patients pédiatriques :

Une équipe de recherche a alors voulu développer son propre logiciel afin de l'étudier sur une population de patients pédiatrique dans la prise en charge de traitement de chimiothérapie. Ces chercheurs présentent leur logiciel et sa conception dans leur publication intitulée « **Farmooo, a Virtual Reality Farm Simulation Game Designed for Cancer Pediatric Patients to Distract their Pain during Chemotherapy Treatment** » (20).

À travers cette étude, les auteurs ont conçu le logiciel de Réalité Virtuelle « Farmooo » pour permettre la distraction de la douleur pendant la chimiothérapie chez des patients en pédiatrie.

Le matériel utilisé est un casque de Réalité Virtuelle Oculus Rift® combiné avec un détecteur de mouvement ou une manette Wii® reliés à un système informatique (**illustration 15**). Ce dispositif permet une immersion de haute qualité comme définie dans notre exposé.



Illustration 15: Patient utilisant le système de Réalité Virtuelle Oculus Rift avec le logiciel Farmooo

L'environnement choisi est une ferme qui symbolise l'espoir et la croissance. Selon cette étude, cet environnement fournit la motivation quotidienne pour maintenir une ferme avec des réalisations gratifiantes. Ce concept est inspiré de jeux vidéo de simulation connus tels que *FarmVille*® et *SimCity*®.

Bien que la distraction de la douleur est l'objectif principal de « Farmooo », il permet également de soulager l'ennui et l'inconfort ressenti par le patient tout au long du processus de chimiothérapie. Le principe de conception mis en avant dans cette étude est que lorsque le patient joue dans un environnement virtuel très stimulant, toute son attention se concentre sur les tâches qu'il doit accomplir et l'attention qu'il porte au ressenti de la douleur sera amoindrie. Le cerveau sera plus orienté vers le gameplay et aura moins de ressources à accorder aux autres stimulations. En effet, ce principe a été expliqué précédemment dans notre exposée et est le fondement de la distraction par la Réalité Virtuelle.

En se basant sur ce concept, le jeu a été développé dans l'idée d'implanter des éléments de jeu distrayants et stimulant pour les patients tout en offrant à ces patients une perspective d'avenir avec des objectifs à accomplir sur le long terme en cultivant et en récoltant des plantes dans leur ferme.

Le patient est donc immergé dans un environnement virtuel représentant une ferme en trois dimensions (**illustration 16**). L'interaction se fait avec les capteurs de mouvements contrôlés par les mains du patient. Une option avec une manette Wii de chez Nintendo® peut être utilisée pendant les périodes où le patient est



Illustration 16: Images tirées du logiciel "Farmooo"

dans l'incapacité physique d'utiliser ses deux mains ou lorsque l'un de ses mains est occupée par les procédures médicales. Ces deux options sont un partie pris par l'équipe de recherche car ils considéraient que la manière d'interagir avec l'environnement virtuel était plus adaptées à la Réalité Virtuelle avec ces dispositifs qu'avec un clavier et une souris.

Chaque mécanique de jeu dans le logiciel « Farmooo » est une métaphore étudiée qui implique un

aspect de la vie et de l'espoir pour les patients atteints de cancer pédiatrique. Ce monde virtuel est un monde vivant et répondant aux actions du patients.

Les principales actions que les patients peuvent effectuer sont la plantation de graines , arroser les plantes puis les récolter. En effectuant ces actions, les patients gagnent des badges de réussite en fonction de la quantité de plantes qu'ils arrivent à faire pousser. L'espoir et les perspectives d'avenir de leurs plantations, de la croissance et de la récolte de leurs plantes sur leur propre ferme au fil du temps permet aux patients de vivre une expérience agréable tout au long de leur protocole de chimiothérapie. Un autre des aspects du jeu est une expérience de compagnie avec l'élevage d'une vache de compagnie. La présence de ce compagnon permet aux patients de comprendre et de réaliser qu'ils ne sont pas seuls.

Les patients peuvent également uniquement explorer l'environnement de la ferme et ses alentours. Ils peuvent simplement marcher autour du champ ou regarder le ciel avec le survol occasionnel d'un avion en papier, caresser leur vache de compagnie, etc... Toutes ces actions permettent d'amener le patient dans un état de bien-être et de plénitude afin de le transporter en dehors de l'environnement hospitalier.

Le logiciel de Réalité Virtuelle a été développé avec pour objectif une distraction immédiate et une idée de durabilité de l'expérience. Pour permettre une distraction immédiate de la douleur, le temps a été accéléré afin de permettre aux plantes de pousser à un rythme accéléré ce qui permet aux patients de planter, d'arroser et de récolter en une seule séance. Divers autres éléments ont été mis en place pour encourager les patients à retourner à leur propre ferme plusieurs fois sur de plus longues périodes afin notamment d'améliorer leur rang de fermier.

Les graphismes très simplistes du jeu garantit que les performances restent stables. Ainsi les patients sont beaucoup moins susceptibles d'avoir en jeu des ralentissements pouvant causer des nausées dans les jeux de Réalité Virtuelle. Ce style graphique a également été choisi afin de permettre aux patients un aspect plus ludique et adapté à l'âge des patients. Le logiciel a également été développé avec une perspective d'adaptation aux différentes situations, en fonction des patients atteints de différents cancers. La santé des patients pouvant être fluctuantes pendant et après les traitements, il était important pour le logiciel de s'adapter à la fois aux patients alités ou non. Le dispositif avec les capteurs de mouvements est destiné aux patients qui peuvent se déplacer librement et non alités, tandis que le contrôleur Wii® est destiné aux patients alités.

Afin d'étudier le potentiel d'utilisation de ce logiciel de Réalité Virtuelle en clinique un groupe de discussion a été organisé avec 6 patients en externe (non hospitalisés). Ces patients externes ont été recrutés car ils présentaient relativement peu de risque d'effets indésirables. Le logiciel a été testé par chacun de ces patients et un questionnaire post-test leur a été distribué.

Plusieurs paramètres sont ressortis de cette étude. Tout d'abord les patients ont apprécié l'adaptation d'un logiciel à leurs pathologies. Cependant certains points concernant l'interaction avec le logiciel ont été soulignés.

Tout d'abord la mobilité lorsqu'un patient est attaché à une perfusion intraveineuse est limitée, avec parfois les mains froides entraînant une diminution de la détection des gestes par le logiciel de Réalité Virtuelle. De plus, les patients ont soumis leur volonté d'un besoin de gameplay plus difficile. L'immersion semblait être importante pour chacun des patients et ils ont tous montré des attitudes positives sur l'utilisation d'un logiciel de Réalité Virtuelle. Néanmoins aucun calcul statistique n'a été effectué au cours de cette étude mais uniquement un compte rendu qualitatif.

En conclusion, le processus de création d'un logiciel de Réalité Virtuelle destiné à un groupe de patients spécifique dans un domaine médical précis est un défi important à adapter à chaque cas. Chaque mécanique et chaque parti pris doivent être étudiés afin de s'adapter au mieux aux besoins d'une population précise de patients ;

Une idée de perspective pour ce logiciel serait de le tester à grande échelle avec différents patients atteints de différents cancers et d'apporter une analyse statistique afin de valider scientifiquement l'efficacité de ce dispositif de Réalité Virtuelle et du logiciel « Farmoo ».

B) Population adulte :

L'incidence de l'apparition de cancers augmente chaque année au niveau international mais les recherches dans le domaine et l'apparition de traitements augmente également le taux de survie relative. Cette augmentation de survie entraîne également en revanche une augmentation des effets indésirables à plus ou moins long terme des cancers et de leurs traitements. Ils peuvent induire un certain nombre de conséquences physiques et psychologiques, telles que l'anxiété, la dépression, la douleur, la fatigue, etc...

Méta-analyse des études publiées sur la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de patients adultes en oncologie :

À ce jour, peu d'études récentes ont étudié de manière précise l'utilisation d'interventions basées sur la Réalité Virtuelle dans les soins contre le cancer dans les populations d'adultes. C'est pourquoi une étude de Yingchun Zeng et son équipe intitulée « **Meta-Analysis of the Efficacy of Virtual Reality–Based Interventions in Cancer-Related Symptom Management** » (21) a étudié à travers une méta-analyse l'ensemble des études sur le sujet.

Les critères d'inclusion choisis étaient les suivants :

- patients adultes diagnostiqués
- tout type d'interventions basées sur la Réalité Virtuelle (différents niveaux d'immersion)
- essais contrôlés randomisés ou cas-témoins

Cette méta-analyse a utilisé une échelle de qualité à 8 éléments pour évaluer le risque de biais de chaque étude incluse. Chaque élément de cette échelle de qualité a été évalué avec un faible risque de biais (positif) ou avec un risque élevé de biais (négatif) permettant un résultat pour chaque étude.

Les éléments de l'échelle étaient les suivants :

- procédure de randomisation correctement décrite
- présence groupe témoin ou non
- résultats mesurés avant l'intervention et après l'intervention
- abandon de rétention inférieur à 30%
- analyse des données manquantes effectuée
- analyse de puissance a été effectuée pour déterminer la taille d'échantillon est appropriée
- validité des mesures
- évaluation de suivi ou non

Articles	Randomization	Control	Pre-Post Test	Retention	Missing Data	Power Analysis	Validity Measure	Follow-up	Scores
Banos et al	-	-	+	+	-	-	+	-	3
Hoffman et al	-	-	+	+	-	-	+	+	4
House et al	-	-	+	+	-	-	+	+	4
Tsuda et al	-	-	+	+	-	-	+	-	3
Glennon et al	-	+	+	+	-	-	+	-	4
Mohammad and Ahmad	+	+	+	+	+	+	+	-	7

Tableau 8 : Scores des différentes études incluses dans la méta-analyse selon l'échelle à 8 éléments utilisée

Sur la recherche initiale étendue de 2013 à 2019 et comprenant 296 études, seules 6 études étaient éligibles pour la méta-analyse. Leur score selon l'échelle à 8 éléments utilisée est retrouvé dans le **tableau 8**.

La composition de ces 6 études était la suivante :

- une seule était un essai contrôlé randomisé
- une était un essai cas-témoin
- les quatre autres étaient principalement un plan d'étude pré-post-test avec un seul bras.

Le nombre de sujets par étude variait de 6 à 97 et tous les participants étaient des adultes atteints de cancer. La durée des interventions variait de 30 minutes à 16 semaines.

Au regard du tableau 8, seule l'étude de Mohammad and Ahmad intitulée « **Virtual reality as a distraction technique for pain and anxiety among patients with breast cancer: a randomized control trial** », comportait un très faible risque de biais de par son score élevé de 7/8. Elle possède donc une pertinence scientifique importante dans l'évaluation du

dispositif de Réalité Virtuelle. Toutes les autres études présentaient un risque de biais assez élevé (3 ou 4 sur 8). Les raisons les plus fréquentes étaient l'absence de randomisation, d'analyse de puissance pour calculer la taille d'échantillon appropriée ou un manque d'évaluation de suivi.

Le tableau ci dessous résume les résultats d'évaluation de la douleur sur les interventions ayant évaluées la douleur lors d'un protocole de soin avec Réalité Virtuelle en oncologie.

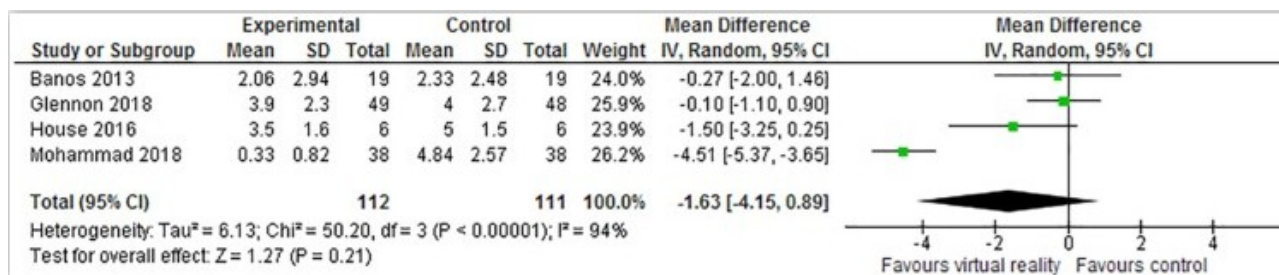


Tableau 9 et Diagramme 7 : Résultats de l'évaluation de la douleur dans les différentes études incluses dans la méta-analyse

Le **tableau 9** et le **diagramme 7** ci dessus montrent les résultats de l'évaluation de la douleur dans ces différentes études. On observe une tendance à la diminution du ressenti douloureux avec une intervention basée sur la Réalité Virtuelle par rapport aux conditions de contrôle pour réduire les niveaux de douleur mais sans significativité statistique ($p = 0,21$).

En conclusion, les résultats de cette méta-analyse indiquent que les interventions basées sur la Réalité Virtuelle en oncologie entraînent une diminution non significative du ressenti de la douleur. La significativité pourrait être réévalué sur des échantillons beaucoup plus importants afin d'observer la tendance du ressenti de la douleur dans ces populations. Les études incluses dans cette étude ont très peu évalué les effets indésirables de la Réalité Virtuelle, tels que les nausées et maux de transports.

Néanmoins, cette méta-analyse ne fait pas de distinction entre les études quant à leur niveau d'immersion dans le logiciel de Réalité Virtuelle. Ce niveau peut être à l'origine de biais très important comme discuté précédemment.

De plus, l'interprétation et la généralisation de ces résultats sont limitées par l'inclusion d'un petit nombre d'études et des plans d'étude hétérogènes étant donné la nouveauté de ces dispositifs de Réalité Virtuelle

Tout cela suggère la nécessité d'études avec une conception de recherche beaucoup plus importante et des tailles d'échantillons plus grandes pour la poursuite des investigations dans ce domaine.

3) Prise en charge de douleurs d'origine nerveuse:

A) Prise en charge de douleurs dites « fantômes »:

Les douleurs dites des membres “fantômes” sont des douleurs dont la prise en charge est difficile compte tenu du caractère psychologique de l'origine des douleurs. En effet ces douleurs surviennent suite à l'amputation de membres ou d'une partie de ces membres. Les patients ont alors l'impression que leur membre est toujours présent et le plus souvent douloureux. Ce sont des douleurs générées par le cerveau car aucun stimulus physique n'est exercé par un quelconque facteur extérieur.

Chez certains patients, cela induit une sensation de mouvement du membre fantôme, et de réduire la douleur associée à ce membre fantôme voir de prendre le contrôle d'un membre fantôme paralysé.

Suite à l'amputation d'un membre, les connexions nerveuses sont toujours présentes ainsi que la partie du cerveau responsable du contrôle du membre amputé. Suite à la perte d'un membre les patients ressentent des sensations de ce membre comprenant la perception de démangeaisons, de pression ou de changements de température ainsi qu'une conscience de l'orientation de ce membre dans l'espace.

Aujourd'hui, la technique dite du « miroir » est souvent utilisée. Elle consiste à placer un miroir face au membre toujours présent afin de projeter une image au cerveau et d'aider les patients à recréer une image corporelle cohérente. Des alternatives non pharmacologiques existent (comme les TENS = Neurostimulation électrique transcutanée, par exemple) mais ne sont pas toujours totalement efficaces.

Les dispositifs de Réalité Virtuelle pourraient remplacer l'actuelle technique du miroir et être une alternative efficace. En effet, l'environnement virtuel permet de contourner les limites du miroir en élargissant le plan spatial et l'amplitude du champ visuel.

Étude sur la prise en charge de patients adultes amputés en Réalité Virtuelle :

Une équipe de recherche a alors tenté l'expérience sur trois participants dans la prise en charge de douleurs de membres “fantômes” (2 amputations membres supérieurs et une amputation de membre inférieur). Le dispositif se compose d'un casque de Réalité Virtuelle ainsi que de capteurs fixés aux

articulations des membres supérieurs ou inférieurs en fonction de l'amputation du patient. Cette étude comporte des séances (au nombres de 2 à 5) établies sur 3 semaines et s'intitule « **The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: Three case studies** » (22)

Ce procédé a été développé par Murray en 2006 et se compose de lunettes permettant l'immersion du patient, de gants et de capteurs (membres supérieurs ou inférieurs en fonction de l'amputation). Les déplacements du membre sain permettent de virtualiser un membre dans l'environnement virtuel. Cette immersion est une haute immersion comme défini dans notre exposée.

Dans cette étude les participants devaient effectuer certaines tâches (déplacer cette représentation virtuelle du membre et toucher des cases de couleurs, frapper une balle, suivre des mouvements, etc..) pendant 30 minutes. La représentation du membre fantôme se base sur les mouvements de la tête et du membre valide enregistrés par les capteurs.

Trois sujets ont été impliqué dans l'étude :

- un homme de 63 ans (patient 1) amputé du membre supérieur gauche (au dessus du coude) souffrant de douleurs fréquentes et invalidantes. Il a passé 5 séances étalées sur 3 semaines avec un maximum de 5 jours entre chaque séance.
- un homme de 60 ans (patient 2) amputé du membre inférieur droit souffrant de douleurs moins intenses que le premier sujet. Il a passé 3 séances étalées sur 3 semaines.
- une femme de 65 ans (patient 3) amputée du membre supérieur gauche (sous le coude) ayant participé à 2 séances sur 3 semaines.

Le patient 1 a observé une diminution significative des douleurs de son membre fantôme pendant et suite aux séances mais également une recrudescence de ses douleurs quelques heures après. Ces douleurs plus intenses sont expliquées par le patient par une période de moindre douleurs lors de la séance de Réalité Virtuelle donnant l'impression d'être plus vive à son retour.

La douleur a été noté dans la semaine suivant les séances de Réalité Virtuelle. Les trois premiers jours, elles ont été notées en moyenne 6.8/10 puis 8.3/10 les trois jours suivants encore. Comme le dit le compte rendu de l'étude, il est vrai que les effets de la Réalité Virtuelle sont courts mais cette limite pourrait être contournée par des séances plus régulières.

Le patient 2 a fait l'objet d'effets indésirables lors de la première séance ce qui met en relief l'un des inconvénients majeurs de ces dispositifs. Le patient 2 a préféré retirer sa prothèse lors de la troisième séance car son membre valide était entré en collision avec sa prothèse lors de la deuxième séance. Cela a permis d'imaginer le mouvement de sa jambe droite ce qui a permis selon lui de baisser la douleur de 7,0 à 3,0/10. Cela a permis de renforcer le sentiment d'immersion dans le virtuel faisant tout l'intérêt de la Réalité Virtuelle.

Le patient 3 a lors des séances obtenu un léger soulagement au niveau de son membre supérieur. En effet, la sensation "d'ongles enfoncés dans la paume" était moins intense lors de la séance mais le patient 3 se trouvait très fatigué après les séances ce qui avait pour effet d'augmenter ses douleurs.

A l'issue de ces séances, tous les patients ont signalé le transfert des sensations dans le membre fantôme ainsi qu'une diminution de la douleur fantôme lors d'au moins une de ces séances. Les patients 1 et 3 semblent néanmoins obtenir de meilleurs résultats et moins d'inconvénients que le patient 2. Cela suggérerait une meilleure modélisation du membre supérieur (doigts) permettant une meilleure immersion et donc de meilleurs résultats. Les bénéfices de la Réalité Virtuelle semblent également de courte durée mais prometteurs et nécessitent des essais contrôlés et de plus grande ampleur.

Seconde étude sur la prise en charge de patients adultes amputés en Réalité Virtuelle :

Une seconde étude intitulée « **Clinical Trial of the Virtual Integration Environment to Treat Phantom Limb Pain With Upper Extremity Amputation** » (23) a recruté des participants avec amputation du membre supérieur au Centre médical militaire national « Walter Reed ». Il leur a été demandé de suivre les mouvements d'un personnage virtuel.

Les critères d'inclusion de l'étude étaient les suivants :

- présence d'une amputation du membre supérieur
- examen neurologique normal (à l'exception de l'amputation)
- trois épisodes hebdomadaires de douleurs du membre fantôme
- aucun antécédent de maladie

Les critères d'exclusion de l'étude étaient les suivants :

- présence d'une lésion cérébrale traumatique au cours des 6 mois précédant
- un score inférieur à 42/50 au Test of Memory Malingering (test de la mémoire faisant la distinction entre une altération de la mémoire et le malingering)

Finalement 14 personnes ont été recrutées pour cette étude lors de séances de 20 ou 30 minutes sur une période de 1 à 2 mois entre octobre 2011 et mai 2014. Tous les participants étaient des hommes actifs âgés de 20 à 30 ans.

Le système d'environnement de Réalité Virtuelle fonctionne sur un ordinateur et permet une visualisation sur un écran opérateur et un écran de visualisation patient (**illustration 17 (A)**). Les signaux EMG ont été enregistrés via huit paires d'électrodes ont été placées autour du membre amputé (**illustration 17 (B)**), ainsi qu'une

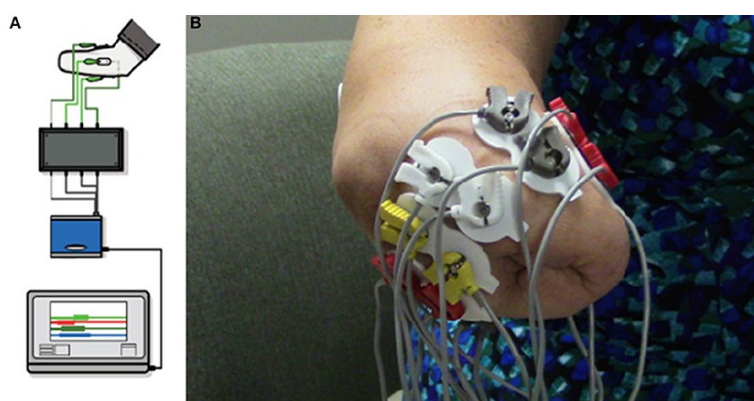


Illustration 17: (A) Schéma du système d'acquisition de données de l'étude (B) Disposition des capteurs autour du membre résiduel permettant une représentation virtuelle du membre amputé

électrode de masse soit sous le coude (amputation trans-radiale) soit sous l'épaule (amputation trans-humérale).

À chaque séance, les participants à l'étude ont rempli une échelle visuelle analogique allant de 1 à 10 (EVA), fréquemment utilisée pour quantifier la douleur du membre fantôme : la « douleur actuelle », « la douleur moyenne » et la « pire douleur ». Un questionnaire sur la douleur de McGill a également été utilisé pour évaluer la survenue, la gravité et les symptômes de la douleur du membre fantôme. Toutes les analyses statistiques ont été définies significative avec une p -value < 0,05.

Au cours des séances les participants observaient la représentation virtuelle de leur membre amputé (**illustration 18**). Le principe était de suivre mentalement les mouvements virtuels de leur membre fantôme. Divers mouvements ont été effectués par le membre virtuel à de multiples intervalles de 2 minutes.

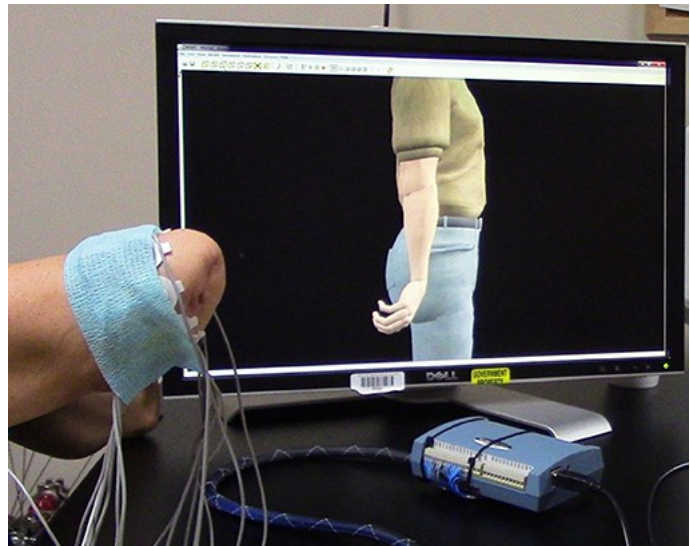


Illustration 18: Représentation virtuelle sur moniteur d'un membre amputé à l'aide de capteurs et de signaux EMG

La collecte de signaux EMG a été justifiée pour s'assurer que les participants étaient activement impliqués tout au long de la séance.

En raison d'engagements militaires, tous les participants n'ont pas toujours été en mesure de terminer les 20 sessions. En moyenne, sur les huit participants ayant terminé l'étude, ils ont effectué en moyenne $17,9 \pm 4,0$ séances sur $79,9 \pm 46,3$ jours.

La douleur du membre fantôme a diminué pour sept des huit patients au cours des séances d'étude. Les scores de l'échelle EVA de la «pire douleur» a diminué de manière significative tout au long de l'étude ($\beta = -0,474$, p-value = 0,015). On observe également la même chose pour les scores de la «douleur actuelle» ($\beta = -0,248$, p-value = 0,042). Bien que les scores de «douleur moyenne» aient diminué lors des séances, la diminution n'était pas significative ($\beta = -0,295$, p-value = 0,078). De même selon le questionnaire sur la douleur de McGill les résultats de sept des huit participants ont diminué au cours des séances avec une diminution significative ($\beta = -0,096$, p-value = 0,003).

En conclusion, la réduction de la douleur observée avec cette représentation virtuelle confirme que la thérapie par la Réalité Virtuelle pourrait être utilisée pour traiter efficacement la douleur de membre fantômes chez des personnes amputées du membre supérieur. Il est important de préciser que cette étude incluait un patient avec une amputation bilatérale. Cette précision est importante car la thérapie miroir repose sur la présence d'un membre intact pour générer un membre intact réfléchi. Cette étude comporte néanmoins quelques limites comme la petite taille de l'échantillon, les différences d'intensité de douleur des membres fantômes entre les participants, les différences de niveau d'amputation le long du membre supérieur. De plus, aucune groupe contrôle n'a été mis en place ce qui ne permet pas une comparaison de modification des douleurs entre le groupe

expérimental et le groupe bénéficiant de l'intervention de référence. Il est possible qu'un effet placebo soit responsable d'un certain degré du soulagement de la douleur rapporté dans cette étude.

B) Prise en charge de douleurs d'origine neuropathiques

Pour les professionnels de santé, les douleurs dites d'origine neuropathique sont des douleurs résultantes de lésion du système neuro-sensorielle : ces douleurs affectent environ 7% de la population générale de manière chronique . La problématique est que moins de 30% des patients ont un soulagement de la douleur suffisant avec les médicaments prescrits . De plus, de nombreux effets secondaires limitent l'utilisation de ces médicaments dans la population générale.

Une étude intitulée « **Virtual Reality Hypnosis In The Treatment Of Chronic Neuropathic Pain: A Case Report** » (24) a étudié chez une patiente l'hypnose en Réalité Virtuelle dans la prise en charge de ses douleurs neuropathiques résistantes aux traitements. L'hypothèse émise lors de cette étude est qu'en stimulant visuellement par le dispositif de Réalité Virtuelle pendant le traitement par l'hypnose, cela donnerait au patient une meilleure réceptivité à l'hypnose et nécessiterait moins de concentration de sa part. Cela pourrait donc être plus efficace que l'hypnose standard dans la prise en charge de douleurs neuropathiques par l'hypnose. L'immersion des patients dans un logiciel de Réalité Virtuelle réduit sa quantité d'attention disponible pour traiter la douleur et augmente sa capacité d'induction hypnotique, facilitant ainsi la diminution de la douleur.

La patiente est une femme de 36 ans avec 5 ans d'antécédents de tétraplégie et de douleurs neuropathiques des membres supérieurs. Cette patiente n'a aucun antécédents psychiatriques. Elle décrit sa douleur comme une sensation de brûlure constante le long des bras avec une majoration au bras gauche. Tous les traitements précédemment essayés (oxycodone, la méthadone, l'oxcarbazépine , la venlafaxine, le diazépam , le lorazépam, la prégabaline, la mexilétine et le triazolam) avaient eu de très faible résultats dans la réduction de ses douleurs. Pour déterminer les effets à long terme de la Réalité Virtuelle, une interruption de traitement pendant une période d'un mois a été effectué. Elle a participé au total à 33 séances de traitement par la Réalité Virtuelle pendant une période de 6 mois.

Le logiciel utilisé est « Snowworld », un logiciel de Réalité Virtuelle très couramment utilisé et décrit précédemment dans notre thèse. Le dispositif est définie comme hautement immersif dans

notre thèse car relié à un système informatique et affiché sur un casque de Réalité Virtuelle. Lors de l'expérience de Réalité Virtuelle, une séance d'hypnose était réalisée en parallèle afin d'aider la patiente et de la guider.

Les mesures des résultats de l'étude étaient composées de l'intensité moyenne de la douleur, du désagrément de la douleur, de la durée pendant laquelle la patiente observait une réduction ou une absence de la douleur. Ces résultats ont été évalués avec une échelle de la douleur allant de 0 (pas de douleur du tout) à 10 (douleur la plus intense imaginable). La patiente a évalué ses douleurs avant et après chaque séance puis en la contactant par téléphone quatre fois par jour pendant les 7 jours qui suivaient. La patiente a également rempli une évaluation de sa douleur quotidienne, de son désagrément pendant les 6 mois de traitement. Ces notes ont ensuite été moyennées. Ces résultats ont permis une comparaison avec l'essai d'hypnose standard qui comprenait 10 séances de traitement.

Type de traitement	Intensité de la douleur			Désagrément de la douleur		
	Moyenne de prétraitement (ET)	Moyenne post-traitement (SD)	Moyenne F / Up sur 1 mois (ET)	Moyenne de prétraitement (ET)	Moyenne post-traitement (SD)	Moyenne F / Up sur 1 mois (ET)
VRH	7,67 (0,58)	7,00 (0,91)	7,50 (0)	7 h 30 (0,58)	6,63 (1,25)	7,50 (0)
Hypnose (non VR)	7,50 (0,96)	7,00 (0,82)	9,00 (0)	8,50 (0,58)	7,25 (0,5)	9,00 (0)

Tableau 10 : Résultats de l'intensité moyenne de la douleur et du désagrément de la douleur en pré et post-traitement et sur 1 mois sur l'hypnose à l'aide de la Réalité Virtuelle chez une patiente

En consultant le **tableau 10**, on observe que les résultats entre la situation de contrôle (étude de 2004-2005) et la situation de Réalité Virtuelle sont similaires pour l'intensité moyenne de la douleur et le désagrément de la douleur du patient avant et après le traitement. Les 10 premières séances du traitement de Réalité Virtuelle ont été comparées aux 10 séances de traitement hypnose de contrôle.

L'immersion en Réalité Virtuelle a diminué la perception de la douleur de la patiente mais de manière similaire à l'hypnose standard.

La durée de la diminution de la douleur entre chaque séance était en moyenne de 12,21 heures dont 3,86 heures sans douleur.

Néanmoins les résultats de la douleur recueillis immédiatement après la séance mettaient en relief une réduction de 36% de l'intensité moyenne de la douleur et une réduction de 33% du désagrément moyen. La patiente a déclaré qu'elle avait beaucoup apprécié l'induction par des stimuli visuels plutôt simplement sur des stimuli auditifs.

En conclusion, ces résultats pourraient suggérer une efficacité immédiate non durable et non significativement différente de l'hypnose standard de la prise en charge en Réalité Virtuelle mais cette étude possède également des limites.

Tout d'abord cette étude est une étude de cas dont les biais sont extrêmement importants. En effet, l'historique et les nombreux échecs thérapeutiques de la patiente peuvent modifier sa perception de la douleur. Il serait de plus ici absurde d'effectuer de quelconques calculs statistiques et de parler de pertinence statistique dans ce cas précis.

La nécessité d'études de grande ampleur randomisées et en simple ou double aveugle est nécessaire pour en tirer de réelles conclusions.

V) Conclusion de la synthèse bibliographique :

L'ensemble de ces études bibliographiques permettent de dégager une tendance dans l'efficacité de la prise en charge de la douleur par la RV.

En effet nous pouvons à présent répondre aux questions que nous nous étions posées en introduction.

La RV a-t-elle une efficacité suffisante pour réduire le ressenti douloureux du patient et son effet décroît-il avec le temps ?

La RV est une technologie alternative innovante dans la prise en charge de la douleur du patient. Suite à cette étude bibliographique, on observe que la majorité des dispositifs de RV montre une efficacité dans la prise en charge des douleurs dans une certaine limite d'intensité de douleur. La preuve scientifique de l'efficacité de ces dispositifs reste à être démontrée car il reste difficile

d'effectuer une étude en double aveugle, à critères objectifs et sur un large échantillon statistiquement significatif, pour évaluer cette efficacité. De plus, l'effet semble ne pas décroître avec le temps mais il serait nécessaire d'effectuer de plus longues études afin de vérifier s'il n'existe pas un phénomène de monotonie ou d'ennui du patient après une répétition de séances qui conduirait à une baisse d'efficacité du dispositif.

La RV induit elle moins d'effets indésirables que la prise de médicaments ou que les méthodes alternatives ?

La RV est une technologie qui induit beaucoup moins d'effets indésirables que les traitements antalgiques classiques.

En effet, on observe très rarement d'effets indésirables lors de séances par la RV. Dans la majorité des cas, ils se caractérisent par des nausées (maux de transport) ou des maux de tête.

Y a t il des risques à l'utilisation de la RV ? Et si oui, quels sont ils sur le corps et l'esprit ?

Il existe très peu de risques sur le corps à l'utilisation de la RV. Les principaux sont les risques liés à l'épilepsie mais l'utilisation de la RV n'est pas recommandée pour les patients à antécédent épileptique ou les risques de nausées liés aux maux de transport.

La principale précaution à prendre est de ne pas leurrer le cerveau en induisant des douleurs non désirées. Néanmoins la définition et le réalisme des mondes virtuels n'est à ce jour que rarement suffisante pour conduire à ce genre de problème.

La RV est elle une alternative économiquement viable pour les hôpitaux et cliniques ?

Le matériel de Réalité Virtuelle se popularise et est désormais plus accessible économiquement pour les établissements de santé publique et privé.

Cela constitue également un argument économique dans la prise en charge des patients avec une diminution du coût pour les organismes de dépense publique. Cette diminution est due au raccourcissement de la durée du séjour à l'hôpital et à la diminution de l'utilisation des médicaments et également de leur iatrogénie.

De plus, face à certaines tensions d'approvisionnement, elle est une alternative non pharmacologique très intéressante pour les établissements de santé.

La RV a t elle une efficacité similaire en fonction de l'âge, du sexe ou des convictions ?

Il est très difficile de démontrer une différence dans l'efficacité de la RV en fonction de l'âge, du sexe ou des convictions. La sensibilité à la douleur est un sentiment très subjectif et propre à chaque patient, ce qui ne permet pas de comparer ces paramètres.

Néanmoins nous pouvons supposer qu'un patient réfractaire à ces technologies ou à la technologie de manière générale observera probablement une diminution de l'efficacité de la RV. De plus, les enfants ou les jeunes adultes ayant grandi avec des technologies comme l'informatique et les systèmes actuels auront une sensibilité accrue à la RV car elle leur est plus familière qu'aux personnes âgées.

Le sexe ne semble pas être une caractéristique modifiant le ressenti douloureux en RV.

VI) Analyse de l'étude de l'utilisation de la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de plaies suturales et de pose de sondes à la clinique St Joseph de Paris en collaboration avec « Healthy Mind »:

1) Présentation du projet :

C'est à l'origine trois jeunes ingénieurs passionnés et diplômés de Télécom Physique Strasbourg (M.Louvigné, R.Khouadra et T.Cabanne) qui eurent l'idée de fonder la start up Healthy Mind.

La popularisation croissante de la Réalité Virtuelle et son accessibilité a donné l'idée à ces ingénieurs de l'utiliser dans un contexte de soin en améliorant la prise en charge des patients par l'atténuation de la douleur et de l'anxiété.

Aujourd'hui installée dans plusieurs cliniques et hôpitaux de la métropole, la start up a travaillé en étroite collaboration avec plusieurs médecins et psychiatres afin de créer des environnements étudiés dans le but de procurer un état constant de bien être aux patients. Cet état de plénitude permet de détourner l'attention du patient et de diminuer le ressenti douloureux.

Le matériel utilisé par la start-up se veut à la pointe de la technologie permettant une qualité graphique très importante renforçant l'immersion dans l'univers virtuel. Comme étudié précédemment la qualité de l'immersion dans l'univers virtuel est une caractéristique très importante dans les logiciels de Réalité Virtuelle ce qui est un atout fort dans l'efficacité du dispositif.

De plus pour pousser l'immersion de chaque individu à son maximum, Healthy Mind a développé plusieurs univers afin de répondre aux attentes et à l'expérience du plus grand nombre de sujets.

Leurs univers sont basés sur des principes psychologiques comme la colorthérapie, la cohérence cardiaque et des événements hypnotiques.

La colorthérapie est un principe basé sur l'apport des couleurs et leurs bienfaits sur la santé auxquelles sont soumis le sujet. Ainsi un patient plongé dans un univers de couleurs chaudes serait alors plus prompt à supporter les basses températures et réciproquement.

La cohérence cardiaque est un principe basé sur le contrôle de la fréquence respiratoire des sujets. Cette fréquence aurait une incidence sur la gestion de la douleur et de l'anxiété par son action apaisante.

Ces univers sont également riches en éléments étudiés comme étant relaxants. Tous ces éléments hypnotiques captivent l'attention du patient et détournent celui-ci de sa condition réelle.

« Healthy Mind » propose plusieurs modes d'immersion en fonction des capacités physiques, cognitives et de la procédure de soin nécessaire. Ainsi, le patient peut se laisser guider dans un monde virtuel en n'étant qu'observateur dans le mode contemplatif ou entrer en interactivité avec le paysage pour plus de distraction dans le mode interactif.

Divers paramètres sont réglés par le professionnel de santé comme la durée de l'immersion, la position du patient, le mode d'interaction afin de correspondre au mieux au patient ainsi qu'aux conditions nécessaires au soin.



Illustration 19: Dispositif de Réalité Virtuelle déployé par Healthy Mind

Le dispositif proposé par Healthy Mind se compose d'un casque de Réalité Virtuelle Oculus Rift® ou HTC Vive® relié à un ordinateur permettant le paramétrage (illustration 19). Le dispositif est constitué d'un casque retranscrivant une image en 3 dimensions. Ce type de dispositif permet une immersion de grande qualité selon les critères définis par notre exposé.

Dans le mode interactif, deux contrôleurs peuvent être ajoutés au dispositif afin de simuler des membres dans le monde virtuel et de permettre l'interactivité. Les oreilles du patient sont également recouvertes d'un casque audio ou d'oreillettes appropriées afin de plonger le patient dans l'univers sonore.

A ce jour, trois univers distincts ont été développés par « Healthy Mind » : un jardin asiatique zen , une forêt et un environnement de montagnes. Chacun possède son propre environnement ainsi que sa propre ambiance sonore.



Illustration 20: Jardin Zen par "Healthy Mind"

Le premier est un jardin asiatique zen (illustration 20) situé à proximité d'un monastère sur lequel surplombe une statue bouddhiste. Au centre de ce jardin se situe un petit étang dans lequel se reflète le soleil. Ce jardin est entouré d'imposantes montagnes renforçant le sentiment d'isolation et de plénitude.



Illustration 21: Forêt par "Healthy Mind"

Dans le second, le patient est transporté dans une forêt de séquoias (illustration 21) dans laquelle se trouve une multitude d'animaux sauvages. De nombreuses fleurs et la végétation luxuriante donnent le sentiment au patient de se retrouver au cœur d'une forêt pleine de vie.



Illustration 22: Refuge de montagnes par "Healthy Mind"

Enfin le dernier environnement transporte le patient dans un refuge de montagnes sous un épais manteau de neige (illustration 22). Ce paysage est un paysage nocturne, le ciel est étoilé et dégagé et de nombreuses aurores boréales illuminent le ciel. Dans le refuge un feu de cheminée vient contraster avec le froid hivernal du paysage.

2) Méthodologie de l'étude et matériel utilisé :

L'étude est une comparaison de deux méthodes de prise en charge des patients à la clinique St Joseph de Paris. La comparaison s'est faite entre deux situations données. La première situation s'est faite avec des anesthésiques locaux de référence, dites situation de contrôle. La seconde situation a été réalisée avec des anesthésiants locaux de référence auxquels nous avons adjoints une distraction par Réalité Virtuelle.

L'utilisation de traitement médicamenteux antalgique et d'anesthésiques locaux est systématique lors de procédures de soin quotidiens. Des méthodes alternatives telles que l'usage de la parole au cours du geste, certaines formes d'hypnose, la Réalité Virtuelle sont étudiées dans ces hôpitaux.

L'utilisation de la Réalité Virtuelle permettrait aux hôpitaux d'améliorer la prise en charge des patients au sein de leurs établissements.

La start up « Healthy Mind » déploie son dispositif de Réalité Virtuelle dans les cliniques afin de prendre en charge les patients qui le souhaitent et d'étudier l'efficacité de cette prise en charge par rapport à un traitement antalgique seul.

Le principe de cette étude est le détournement d'attention du patient par l'utilisation de la Réalité Virtuelle. Cette technique permet l'immersion du patient dans un environnement virtuel étudié pour apporter au patient un état de détente et de bien être. Cela est permis par un casque inhibant la vision du patient du monde extérieur et un casque auditif réduisant les sons provenant de l'extérieur. Ainsi isolé, cela permet au patient de vivre pleinement l'expérience virtuelle.

L'objectif de cette étude est de démontrer que ce dispositif de Réalité Virtuelle permet d'améliorer la prise en charge des patients en association avec des antalgiques per os et/ou locaux.

Nous allons étudier les résultats obtenus pour démontrer l'efficacité de la Réalité Virtuelle dans cette prise en charge de manière objective ainsi qu'évaluer la satisfaction des patients vis à vis de l'expérience.

La Réalité Virtuelle a déjà été étudiée dans plusieurs domaines de la médecine pour la prise en charge des patients en ambulatoire comme étudié précédemment mais « Healthy Mind » s'est intéressé à la prise en charge des patients lors de soins invasifs.

Les objectifs principaux de l'étude d'« Healthy Mind » ont été de prouver que l'immersion dans leur logiciel de Réalité Virtuelle associée à une anesthésie locale permettait de diminuer la perception de la douleur au cours de soins invasifs chez le patient en ambulatoire et de diminuer la pénibilité des soins par augmentation de la satisfaction de la prise en charge.

Pour évaluer leur dispositif, ils ont utilisé des échelles analogiques visuelles graduées de 1 à 10. Une première échelle était utilisée pour évaluer l'intensité de la douleur ressentie par le patient à la fin du soin et une seconde pour évaluer la satisfaction apportée au patient par le dispositif.

Les critères d'inclusion choisis par « Healthy Mind » sont les suivants:

- Homme et Femme majeurs
- Francophones pour faciliter les échanges et limiter les biais d'interprétation
- Des patients affiliés à un régime de sécurité sociale afin de dégager un modèle économique fiable.
- Patients avec une plaie nécessitant des points de sutures, réalisables dans le service de soin, du tronc ou des membres ou des patients nécessitant la pose d'une sonde urinaire aux urgences potentiellement douloureuse.

Les critères d'exclusion choisis par « Healthy Mind » sont les suivants:

- Patient sous tutelle/curatelle
- Patient ayant une plaie de la face, ne permettant pas le déploiement du dispositif
- Patients présentant des nausées, vomissements, vertiges incompatibles avec l'expérience de Réalité Virtuelle
- Patients avec antécédents convulsifs ou d'épilepsie
- Patient dont le port de casque de Réalité Virtuelle est jugé inadapté
- Refus du patient de participer à l'étude

Au niveau de l'étude et de sa méthodologie, tous les patients sont issus d'un même hôpital (étude **monocentrique**) ce qui permet d'éviter un biais dans la différence de prise en charge des patients. De plus le recueil des résultats est **prospectif** et effectué par des questionnaires distribués aux patient quelques temps après leur prise en charge. Le faible temps entre l'expérience de Réalité Virtuelle et le questionnaire permet d'éviter un biais supplémentaire lié à la mémoire des patients.

L'étude est présentée comme étant randomisée selon le jour de la semaine. Certains jours de la semaine seront avec le déploiement du dispositif de Réalité Virtuelle et d'autres sans.

Bien que l'étude soit randomisée, les patients n'ont pas été tous pris en charge avec la Réalité Virtuelle associée aux antalgiques. Un patient différent sera alors pris en charge par antalgiques seuls ce qui induit l'intervention d'un biais multifactoriel lié aux sensibilités à la douleur inter-individus. C'est une étude interventionnelle par déploiement du dispositif chez certains patients plutôt qu'a d'autres.

La présente étude s'est déroulée sur 3 mois (mai à août 2018) au cours desquelles le dispositif a été déployé sur la clinique St Joseph de Paris.

200 patients ont été recrutés pour cette étude :

- 150 patients pour une plaie suturale
- 50 patients pour la pose d'une sonde urinaire

Dans les deux conditions d'étude, la moitié d'entre eux ont subi l'intervention avec antalgiques seuls (groupe contrôle) et l'autre moitié a subi l'intervention avec antalgiques associés au dispositif de

Réalité Virtuelle.

	Patients pour plaie suturale	Patients pour pose sonde urinaire	Total
Antalgiques seuls	75	25	100
Antalgiques + Réalité Virtuelle	75	25	100
Total	150	50	200

L'étude s'est déroulée pour le groupe contrôle dans les conditions suivantes: le patient était allongé sur un brancard et une procédure classique avec injection d'anesthésique selon l'historique médicamenteux du patient a été effectuée.

Dans le groupe de Réalité Virtuelle les conditions étaient les suivantes: le patient était sur un brancard en position semi assise et portait le casque de Réalité Virtuelle. Le logiciel de Réalité Virtuelle utilisé est le logiciel de « Healthy Mind », qui n'est pas interactif mais contemplatif. Il est composé d'un univers relaxant étudié pour détendre le patient avec des phases de transitions sonores pour amener progressivement le patient dans le logiciel et de l'en sortir. Le patient a le choix entre trois univers décrits précédemment (jardin zen, montagnes ou forêt) afin de faciliter son immersion fonction de ses préférences.

Un questionnaire d'évaluation du dispositif et de l'expérience de Réalité Virtuelle a été distribué après la procédure afin d'évaluer la satisfaction du patient. Les informations étaient collectées par le médecin urgentiste réalisant le geste.

Le recueil des données a été effectué selon le modèle suivant:

- Recueil des données démographiques (Age, taille, poids, sexe, profession, antécédents)
- Motif d'admission aux urgences (plaie suturale ou pose sonde)
- Recueil de l'EVA de douleur (0 à 10)
- Recueil de l'EVA de satisfaction et du questionnaire concernant la satisfaction au cours du geste (0 à 10)

3) Résultats et interprétations :

Je n'ai malheureusement pu recueillir aucune données car le temps de recueil et de traitement de ces données se sont avérés trop important. Compte tenu du manque de données, aucune analyse de l'efficacité du dispositif de HealthyMind ne peut être effectué.

Néanmoins, nous pouvons évaluer le matériel et les critères d'évaluation établis par HealthyMind.

Le matériel utilisé permet une haute immersion selon nos critères d'évaluation. De plus, les univers virtuels mis en place se veulent adaptés aux patients.

Ces arguments jouent en faveur de l'efficacité du dispositif d'HealthyMind comme étudié précédemment.

Nous pouvons regretter la non-interaction du patient avec l'univers virtuel car cette interaction stimule davantage l'attention du patient et diminuerait donc son attention à la douleur.

Il est important de préciser que l'évaluation de la douleur est uniquement subjective selon une échelle de ressenti de la douleur par le patient et aucun critère objectif n'a été recueilli. Les critères subjectifs sont plus souvent soumis aux biais car les patients ressentent différemment la douleur.

VII) Analyse de l'utilisation de la Réalité Virtuelle en collaboration avec « HypnoVR » dans la prise en charge en clinique:

a) Présentation de HypnoVR :

Ce dispositif est présenté comme une méthode d'hypnose médicale permettant une diminution de la douleur par une solution alternative ou complémentaire aux traitements pharmacologiques et non pharmacologiques traditionnels à l'aide d'un casque de réalité virtuelle.

A l'heure actuelle trois études cliniques ont été réalisées à l'aide de ce dispositifs HypnoVR.

→ *Dans la prise en charge de la douleur post-opératoire en chirurgie de la scoliose en compléments d'opioïdes (six mois à l'hôpital Hautepierre de Strasbourg) :*

Un groupe expérimental a effectué une séance de 20 minutes avec le dispositif HypnoVR et un groupe contrôle a reçu le protocole de soin habituel aux doses de morphine usuelles. Une différence significative a été observé entre les deux groupes car le groupe expérimental a consommé 45% d'opioïdes en moins que le groupe contrôle. De plus le groupe expérimental a nécessité un temps de

récupération inférieure de 21 heures en moyenne par rapport au groupe contrôle ce qui est à la fois un bénéfice pour le patient et un bénéfice financier pour l'établissement de santé.

→ *Dans la prise en charge de patients de plus de neuf ans lors de soin dentaire pédiatrique à Strasbourg :*

Dans cette étude un groupe d'enfants a été soumis au dispositif de réalité virtuelle et leur niveau d'anxiété a été évalué à l'aide de l'échelle APAIS, une échelle numérotée de 0 à 10. On sait que le niveau d'anxiété est directement corrélé au niveau de ressenti de la douleur comme démontré précédemment. Une diminution de l'anxiété de 45% a été observé lors de cette étude.

→ *Dans la réduction de la douleur et de l'anxiété lors de procédures de procréation médicalement assistée tels que les prélèvements d'ovocytes dans un centre hospitalier de Strasbourg :*

Dans cette étude 38 patientes ont effectué une séance de vingt minutes de réalité virtuelle à l'aide du dispositif en complément d'une faible sédation. Les résultats ont montré que 89,4% des patientes ont trouvé que le dispositif offrait un confort supplémentaire lors de la procédure.

Ces résultats semblent prometteurs mais l'absence de groupe contrôle dans la majorité des études ne permet pas une comparaison statistique significative du dispositif. De plus ces tests nécessiteraient un plus grand échantillon pour une meilleure pertinence statistique. Selon les résultats communiqués par HypnoVR, une personne sur 4000 serait sujet à des effets indésirables dûs à la réalité virtuelle. Ce score reste faible comparé aux nombreux effets indésirables des antalgiques et sédatifs utilisés couramment.

La praticité et la compacité du dispositif en fait pour les établissements hospitaliers et les patients une excellente alternative aux traitements de référence.

b) Composition du dispositif de RV :

Ce dispositif est une association entre un casque de Réalité Virtuelle (Oculus GO®) et un casque audio de la marque Bose® . Une manette de contrôle permet la navigation dans le logiciel.

Selon notre exposé, ce dispositif est donc considéré comme moyennement immersif.

Différents scénarii ont été étudiés en fonction du geste appliqué au patient. Par exemple pour des procédures rapides telles que sur voie veineuse périphérique, ponction lombaire, etc.. d'une durée souvent de moins de 20 minutes, des scénarii à durée fixe ont été développés.

En cas de procédures plus longues telles que les opérations d'autres scénarii à durée variable ont été développés.

L'avantage de ce dispositif est que pendant toute la durée de la procédure, il est toujours possible de parler au patient. Ainsi, si le patient souhaite arrêter l'expérience, il le peut à tout moment.



Illustration 23: Logiciels utilisés par HypnoVr dans la prise en charge de la douleur à la clinique de Morlaix

Différents univers ont été développés et permettent d'immerger le patient sur une plage de sable loin de toute civilisation (**illustration 23 gauche**), dans une nature verdoyante et apaisante (**illustration 23 milieu gauche**), dans les profondeurs sous marine (**illustration 23 milieu droite**), ou encore dans une capsule pour voyage spatial (**illustration 23 droite**) en fonction des choix du patient et des besoins de l'intervention.

L'immersion est également augmenté au plus nous stimulons de sens différents c'est pourquoi le casque audio permet de diffuser une ambiance fidèle au lieu dans lequel se trouve le patient ou de diffuser une musique apaisante.

Ce dispositif permet par sa compacité et sa facilité d'utilisation de placer le patient dans la position nécessaire au bon déroulement de la procédure médicale et le respect des règles d'hygiène.

Comme tout dispositif de réalité virtuelle, HypnoVR possède quelques contre-indications :

- les enfants de moins de 13 ans
- les antécédents de pathologie psychiatrique ou d'épilepsie non contrôlée
- les troubles visuels et/ou auditifs ne permettant pas la pleine immersion

HypnoVR est présenté comme un dispositif permettant de diminuer les effets indésirables des antalgiques et sédatifs. Il peut en revanche parfois provoquer les effets indésirables de la réalité virtuelle tels que les céphalées, la somnolence, vertiges, anxiété, etc..

Tout sentiment d'inconfort ou la présentation de l'un ou plusieurs de ces effets indésirables doit faire arrêter l'utilisation de ce dispositif de Réalité Virtuelle.

c) Étude menée avec le dispositif de HypnoVR dans une clinique du groupe Vivaltosanté à Morlaix :

Afin de compléter cette présentation, je me suis rendu à la clinique Victor Hugo de Paris afin de tester cette expérience de Réalité Virtuelle.

Essai du dispositif de RV et opinion sur la qualité de l'immersion :

J'ai pu me rendre dans la clinique de la baie à Morlaix afin d'évaluer le dispositif utilisé lors de procédures de soin.



Illustration 24: Casque autonome Oculus go utilisé par HypnoVR



Illustration 25: Casque audio Bose utilisé par HypnoVR

L'installation du casque est effectivement assez simple et de nombreux réglages sont possibles à l'aide de plusieurs sangles ce qui augmente le confort d'utilisation du casque de RV. On regrette néanmoins que le réglage de l'écartement des yeux ne soit pas possible, car cela peut nuire à l'angle d'immersion et donc à l'expérience de l'utilisateur. Le casque audio Bose est un supra-auriculaire qui permet une immersion totale et plonge totalement l'utilisateur dans l'univers virtuel. Un autre inconvénient du casque de RV est son poids, qui après plusieurs minutes d'utilisation commence à se faire sentir.

Plusieurs paramètres sont ajustables dans les réglages du casque de RV comme la durée du scénario, le choix de diverses musiques d'ambiance, la voix guidant l'hypnose, etc..

Mon expérience se base sur le test de deux des quatre logiciels d'HypnoVR.



Illustration 26: Immersion sous marine par HypnoVR

Mon premier choix s'est porté sur l'immersion sous-marine (**illustration 26**). L'utilisateur débute sur une plage paradisiaque pour progressivement s'immerger dans l'océan guidé par une tortue sous-marine. Une voix choisie au préalable amène l'utilisateur à un état de détente progressif au fur et à mesure de son avancement. Le déroulement du scénario est intéressant car il est fractionné en plusieurs étapes.

Tout d'abord il y a un isolement avec la réalité par le port du casque et la présence sur la plage. Ensuite, l'utilisateur est amené vers un état de plénitude symbolisé par l'immersion totale dans l'océan puis s'opère un retour progressif à la réalité par la sortie de l'océan.



Illustration 27: Voyage spatial par HypnoVR

Mon second choix s'est porté vers le voyage spatial (**illustration 27**). Sur le même principe que le logiciel précédent, l'utilisateur débute son voyage sur la terre ferme, rentre dans la capsule puis s'élève progressivement vers l'espace. Il vit alors une multitude de

stimulation à l'aide de phénomènes astraux puis redescend progressivement sur la Terre.

Cette expérience a été satisfaisante car l'immersion dans ces deux logiciels virtuels fut concluante. En effet lors de ces scénarii le temps semble suspendu et on oublie assez rapidement notre environnement. De plus, lors du retrait du casque on observe un sentiment d'éveil, comme si je sortais du sommeil. Ce sentiment appuie l'efficacité du dispositif car il amène bien son utilisateur à un sentiment de plénitude.

Néanmoins, on regrette l'absence d'interactivité avec l'environnement qui amène à se poser la question d'un sentiment d'ennui après de nombreuses minutes ou plusieurs séances. Ce sentiment pourrait être à l'origine d'une diminution de l'immersion du patient dans le logiciel virtuel et donc d'une augmentation de sa perception de l'environnement réel amenant à une augmentation de la perception du ressenti de la douleur. Pour ma part, je n'ai ressenti aucun effet indésirable suite à une demi heure d'utilisation du casque de RV.

On regrette également la très faible autonomie de la batterie qui oblige à recharger très souvent le dispositif.

Ces résultats se basent sur mon expérience de sujet sain, sans stimulation douloureuse externe. Il en résulte une immersion satisfaisante mais on s'interroge sur pérennité de l'efficacité de l'immersion.

L'évaluation du ressenti de la douleur à l'aide de ce dispositif ne peut se faire que lors de procédure de soin. C'est pourquoi il a été testé sur des patients dans le service de chimiothérapie de la clinique de la baie de Morlaix.

Le questionnaire distribué (**ANNEXE 2**) a été distribué afin de mieux décrire le ressenti du patient compte tenu de la faible importance de l'échantillon. Malheureusement, compte tenu du contexte sanitaire de l'année 2020 (épidémie mondiale de COVID-19), la mise en place et le retour de ces questionnaires n'a pas pu s'effectuer afin de réaliser une analyse statistique et une évaluation personnelle du dispositif d'HypnoVR.

Il est néanmoins important de préciser que l'efficacité du dispositif d'HypnoVR a déjà été évaluée

comme cité précédemment lors de chirurgie de la scoliose, de PMA et de soins dentaires.

Il pourrait alors être une alternative non pharmacologique judicieuse compte tenu de la période de fortes tensions d'approvisionnement pour les médicaments nécessaires à la prise en charge des patients liées à cette crise sanitaire. Son utilisation permettrait notamment de :

- baisser la consommation d'antalgiques de certaines procédures et de préserver les stocks pour d'autres usages
- réduire les effets secondaires médicamenteux liés aux morphiniques
- optimiser les durées de séjour et les places dans les cliniques et hôpitaux.

Pour conclure, le dispositif d'HypnoVR est un dispositif innovant et une alternative non pharmacologique aux traitements antalgiques, particulièrement lors des périodes de crise sanitaire comme nous venons de vivre avec le COVID-19. Selon certaines études, sa qualité d'immersion permet une atténuation de la douleur suffisante pour des procédures de soin avec un potentiel de ressenti douloureux faible. Ces résultats n'ont néanmoins pas pu être confirmés par une évaluation statistique personnelle. La popularisation des dispositifs de RV et la baisse de leurs coûts est un argument économique supplémentaire pour les établissements de santé.

La qualité de l'immersion pourrait être augmentée par augmentation de l'interactivité avec le monde virtuel pour stimuler davantage l'utilisateur. De plus, comme dans beaucoup de dispositif de RV, le port du casque au niveau des yeux ne permet pas son utilisation lors de certaines procédures (yeux) ou pour certains patients (problèmes dermatologiques localisés au niveau du visage).

VIII) Perspectives de la Réalité Virtuelle :

Nous venons d'étudier la prise en charge de la Réalité Virtuelle par des dispositifs de Réalité Virtuelle dans différentes prises en charge de soins possibles. Ces dispositifs sont des alternatives non pharmacologiques d'avenir dans la médecine moderne.

Afin d'évaluer les perspectives de la Réalité Virtuelle dans la prise en charge de soins courants, ce questionnaire (**Annexe 3**) a été distribué à 132 personnes sur les réseaux sociaux et les résultats ont été recueillis après une semaine.

On observe que 40,0% de l'échantillon a déjà fait l'objet d'un ou de plusieurs effets indésirables dû

aux médicaments antalgiques. Ce chiffre démontre bien que ces effets indésirables ne sont pas anecdotiques et sont fréquemment rencontrés.

De plus 70,0% de l'échantillon pense que les dispositifs de Réalité Virtuelle sont une alternative possible aux antalgiques et aux autres techniques de distraction de la douleur. Ce résultat suggère l'absence d'appréhension et la confiance de la population dans ces dispositifs de Réalité Virtuelle.

Parmi les personnes atteintes d'effets indésirables, il s'avère que 73,0% sont des femmes. Ce résultat est à mettre en corrélation avec un second car 65.5% des personnes ayant répondu à l'étude sont des femmes ce qui implique un biais dans ce premier résultat.

Il est plus pertinent de regarder la proportion d'effets indésirables parmi les hommes ainsi que celle parmi les femmes. On observe alors que dans la population, l'apparition d'effets indésirables est plus fréquent chez la femme (45,0%) que chez l'homme (30,0%)

La popularisation des technologies de Réalité Virtuelle immersive ainsi que des diverses technologies associées est un réel phénomène de notoriété publique car près de 72,0% des personnes ont déjà fait l'expérience de l'une de ces technologies dans un but récréatif.

Il serait intéressant de regarder la répartition des âges face à ces questions sur la Réalité Virtuelle qui est un phénomène moderne dont la vision pourrait être variable en fonction de la génération. On observe que 72,0% des gens croient en un potentiel de la Réalité Virtuelle quel que soit l'âge.

En revanche, près de 96% de l'échantillon se voit prêt à essayer ces dispositifs de Réalité Virtuelle dans la prise en charge de leur douleur lors de procédures de soins.

Bien que l'adhésion soit forte, on observe que les individus ne prennent pas le même niveau de risque face à la potentielle intensité de douleur ressentie: sur les 102 individus ayant répondu positivement :

- 9.5% des individus sont prêts à tester le dispositif face à une très faible intensité de douleur (1 sur 4 sur une échelle graduée), décrite comme étant similaire à celle ressentie lors d'une prise de sang.
- 49.5% soit près d'une personne sur deux face à une faible intensité de douleur (2 sur 4)
- 29.6% face à une douleur définie comme moyennement douloureuse (3 sur 4)
- 13.3% face à une forte intensité de douleur (4 sur 4), décrite comme étant similaire à celle ressentie lors d'une opération avec chirurgie.

Il est intéressant d'observer que près de 81.1% des personnes ayant ou souhaitant avoir des enfants sont prêts à faire tester le dispositif à leur(s) enfant(s) afin de pallier à leur appréhension et aux potentielles douleurs.

Si le dispositif s'avérait concluant et qu'il soit proposé sans prise en charge par l'assurance maladie, la question de la participation financière a été abordée.

On constate que 92.5% des individus sont prêts à une participation forfaitaire afin de réduire leur douleur ou celle de leur enfant. De plus, 29,2% soit presque une personne sur trois seraient prêts à payer plus de 20€ si la Réalité Virtuelle leur permettrait une procédure de soin moins pénible.

De plus près de 79% des individus seraient prêts à faire prendre leur(s) enfant(s) à en charge par ces dispositifs et à payer des frais médicaux supplémentaires non remboursés par l'assurance maladie.

Cette étude permet de mettre en relief l'intérêt porté à la Réalité Virtuelle dans la population. Bien que cette technologie n'en soit qu'à ses balbutiements, on constate que les patients sont prêts à expérimenter ces technologies et semblent croire en son potentiel.

Ces résultats sont une porte ouverte aux développeurs de logiciel de Réalité Virtuelle car la population se dit prête à utiliser ces dispositifs dans la réduction de la douleur lors du soin douloureux.

De plus, après analyse de plusieurs études sur le sujet, il s'avère que les résultats obtenus dans divers disciplines de la médecine semble prometteurs.

De la prise en charge douleur aiguë à chronique, les méthodes antalgiques non pharmacologiques doivent devenir une alternative ou une complémentarité aux traitements pharmacologiques afin de diminuer les importantes prises médicamenteuses et les nombreux effets indésirables.

Avec la popularisation des dispositifs et la baisse croissante de leurs prix, ils sont également une solution économique car ils permettent une diminution des coûts pour les structures médicales.

IX) Bibliographie

- (1) Scandinavian Journal of Pain ; « **The effects of auditory background noise and virtual reality technology on video game distraction analgesia** » ; Julia A. Zeroth / Lynnda M. Dahlquist / Emily C. Foxen-Craft ; Novembre 2018
- (2) SCIENCE ; « **Pain Mechanisms : A New Theory** » ; Volume 150, Numéro 3699 ; Melzack et Wall ; 19 Novembre 1965
- (3) Psychological Bulletin, 95(3), 516-533 ; « **Distraction and coping with pain** » ; McCaul, K. D., et Malott, J. M. ; 1984
- (4) « **Multiple Resources and Mental Workload** » ; Cristopher D. Wickens ; 2008
- (5) « **Virtual reality and pain management: current trends and future directions** » ; Angela Li, Zorash Montaña, Vincent J Chen, Jeffrey I Gold ; Janvier 2012
- (6) International Conference on Cyberworlds ; « **Effects of Electrical Pain Stimuli on Immersion in Virtual Reality** » ; Wölfel et Schubert ; Octobre 2018
- (7) Travaux préparés au Sommet mondial de pédiatrie ; M. Silverberg et J. La Puma. "**Virtual Reality and vaccination**" ; 2017
- (8) Trials ; « **Effects of immersive virtual reality intervention on pain and anxiety among pediatric patients undergoing venipuncture: a study protocol for a randomized controlled trial** » ; Cho Lee Wong, Miranda Mei Wa Lui et Kai Chow Choi ; 20 Juin 2019
- (9) Korean Journal of Anesthesiology ; « **Virtual reality distraction decreases routine intravenous sedation and procedure-related pain during preoperative adductor canal catheter insertion: a retrospective study** » Pooja G. Pandya, T. Edward Kim , Steven K. Howard, Erica Stary, Jody C. Leng, Oluwatobi O. Hunter, Edward R. Mariano; Août 2017
- (10) Publiée en ligne ; « **A Randomized, Controlled Trial of Immersive Virtual Reality Analgesia during Physical Therapy for Pediatric Burn Injuries** » ; Yuko S. Schmitt, MD, Hunter G. Hoffman, David K. Blough, David R. Patterson, Mark P. Jensen, Maryam Soltani, Gretchen J. Carrougher, Dana Nakamura, Sam R. Sharar ; 7 Août 2010
- (11) Journal of Burn Care & Research ; « **Effect of Virtual Reality on Adolescent Pain During Burn Wound Care** » ; Debra Jeffs, Dona Dorman, Susan Brown, Amber Files, Tamara Graves, Elizabeth Kirk, Sandra Meredith-Neve, Janise Sanders, Benjamin White, Christopher J. Swearingen ; Septembre/Octobre 2014

- (12) Journal of Parin Research ; « **Projector-based virtual reality dome environment for procedural pain and anxiety in young children with burn injuries: a pilot study** » ; C. Khadra, A. Ballard, J. Déry, D. Paquin, J-S Fortin, I. Perreault, D. R Labbe, H. G Hoffman, S. Bouchard, S. LeMay ; 14 Février 2018
- (13) UW Medicine ; « **Virtual Reality, riding the wave of innovation at uw medicine** » ; Hoffman et Patterson ; 2006
- (14) Ann Behav Med ; « **Virtual Reality as an adjunctive non-pharmacologic analgesic for acute burn pain during medical procedure** » ; Hunter G. Hoffman, G. T. Chambers, W. J. Meyer, L. L. Arceneaux, W. J. Russell, E. J. Seibel, T. L. Richards, S. R. Sharar, D. R. Patterson ; 14 Juin 2015
- (15) Frontiers in psychology ; « **Virtual reality Analgesia for pediatric dental patients** » ; B. Atzori, R. Lauro Grotto, A. Giugni, M. Calabrò, W. Alhalabi, H. G. Hoffman ; 23 Novembre 2018
- (16) Cyberpsychol Behaviour Soc Netw ; « **Clinical Use of Virtual Reality Distraction System to Reduce Anxiety and Pain in Dental Procedures** » ; Wiederhold , Gao ; 17 Juin 2014
- (17) Cyberpsychol Behaviour ; « **The effectiveness of Virtual Reality for dental pain control: A case study** » H. G. Hoffman, A. Garcia-palacios, D. R. Patterson, M. Jensen, T. Furness and W. F. Ammons ; 4 Août 2001
- (18) Pain Medicine, Volume 14, Pages 621 ; « **A Virtual Reality System Combined with Biofeedback for Treating Pediatric Chronic Headache : A Pilot Study** » ; S. Shiri, U. Feintuch, N. Weiss, A. Pustilnik, T. Geffen, B. Kay, Z. Meiner, I. Berger ; Mai 2013
- (19) MDPI ; « **RabbitRun: An Immersive Virtual Reality Game for Promoting Physical Activities Among People with Low Back Pain** » ; A.Alazba , H. Al-Khalifa ; H. Alsobayel ; Décembre 2018
- (20) Society for Imaging Science and technology ; « **Farmooo, a Virtual Reality Farm Simulation Game Designed for Cancer Pediatric Patients to Distract their Pain during Chemotherapy Treatment** » ; J Ng, H. Lo, X. Tong, D. Gromala, W. Jin ; 2018
- (21) Integrative Cancer Therapies ; « **Meta-Analysis of the Efficacy of Virtual Reality–Based Interventions in Cancer-Related Symptom Management** » ; Y. Zeng, J-E Zhang, J. Scott Wefel ; Janvier 2019
- (22) Disability and Rehabilitation ; « **The treatment of phantom limb pain using**

- immersive virtual reality: Three case studies** » ; C. D. Murray, S. Pettifer, T. Howard, E. L. Patchick, F. Caillette, J. Kulkarni, C. Bamford ; Juillet 2009
- (23) Frontiers in Neurology ; « **Clinical Trial of the Virtual Integration Environment to Treat Phantom Limb Pain With Upper Extremity Amputation** » ; B. N. Perry¹, R. S. Armiger, M. Wolde , K. A. McFarland, A. L. Alphonso , B. T. Monson, P. F. Pasquina , J. W. Tsao ; Septembre 2018
- (24) The International journal of clinical and experimental hypnosis ; « **Virtual Reality Hypnosis In The Treatment Of Chronic Neuropathic Pain: A Case Report** » ; B. J. ONeal, D. R. Patterson and M. P. Jensen ; Septembre 2009

ANNEXE 1: Questionnaire distribué pour l'évaluation du dispositif de Réalité Virtuelle dans l'étude
« **Virtual reality Analgesia for pediatric dental patients** »

(1) Évaluez votre douleur la plus forte au cours du dernier stimulus de la douleur (intensité de la douleur).

- 0 pas de douleur du tout
- 1 à 4 douleurs légères
- 5 à 6 douleurs modérées
- 7 à 9 douleurs intenses
- 10 douleurs insoutenables

(2) Combien de temps avez-vous passé à réfléchir à votre douleur au cours du dernier stimulus contre la douleur?

- 0 = pas du tout
- 1 à 4 de temps en temps
- 5 la moitié du temps
- 6 à 9 la plupart du temps
- 10 tout le temps

(3) A quel point le pire stimulus douloureux était-il désagréable?

- 0 pas du tout désagréable
- 1 à 4 légèrement désagréable
- 5 à 6 moyennement désagréable
- 7 à 9 très désagréable
- 10 extrêmement atroce

(4) Plaisir éprouvé lors des soins?

- 0 pas du tout amusant
- 1 à 4 moyennement amusant

- 5 à 6 moyennement amusant
- 7 à 9 plutôt amusant
- 10 très amusant

(5) Tout en expérimentant le monde virtuel, dans quelle mesure vous sentiez-vous comme si vous vous trouviez dans le monde virtuel?

- 0 = je ne me sentais pas du tout allé à l'intérieur
- 1-4 légère sensation d'aller à l'intérieur
- 5-6 sentiment modéré d'aller à l'intérieur
- 7-9 forte sensation d'aller à l'intérieur
- 10 Je suis complètement entré dans le monde virtuel

(6) À quel point les objets virtuels vous ont-ils semblé réels pendant la réalité virtuelle?

- 0 = complètement faux
- 1-4 quelque peu réel
- 5 = modérément réel
- 6-9 = très réel
- 10 = impossible à distinguer d'un objet réel

(7) Dans quelle mesure (le cas échéant) avez-vous eu des nausées (mal au ventre) en raison de votre expérience du monde virtuel au cours de la dernière session de réalité virtuelle?

- 0 = pas de nausée du tout
- 1-4 = nausée légère
- 5 = nausée modérée

ANNEXE 2 : Questionnaire distribué sur un réseau social pour l'évaluation des perspectives des dispositifs de Réalité Virtuelle dans la population.

Êtes vous une femme ou un homme ?

1- Femme

2- Homme

Au sein de quelle tranche d'âge vous situez vous ?

1- < 20 ans

2- 20 à 30 ans

3- 30 à 50 ans

4- > 50 ans

Avez vous déjà fait l'objet d'un effet indésirable dû à un médicament contre la douleur (déséquilibre intestinal, nausées, vertiges, somnolence) ?

1- Non

2- Oui

Avez vous déjà testé des dispositifs de réalité virtuelle ?

1- Non

2- Oui

Pensez vous que la réalité virtuelle puisse être utilisée de manière efficace dans l'atténuation de la douleur ?

1- Non

2- Oui

Seriez vous prêt(e) à être pris(e) en charge à l'aide de l'un de ces dispositifs lors d'un quelconque

soin ? :

1 – Non

2 – Oui

Si oui, sur une échelle de 1 à 4, où 1 correspond à un geste peu douloureux (prise de sang) et 4 correspond à un geste potentiellement très douloureux (opération avec chirurgie), à quelle potentielle intensité de douleur seriez vous prêt(e) à essayer la réalité virtuelle lors d'un soin ?

Si vous avez des enfants, seriez vous prêt à ce qu'il soit pris en charge par de tels dispositifs afin de réduire lors appréhension et/ou douleurs lors de soins ?

1- Non

2- Oui

Dans l'hypothèse où un tel dispositif ne serait pas remboursé par l'assurance maladie, à quelle participation seriez vous prêt(e) pour réduire la douleur lors de vos soins et/ou celle(s) de votre(vos) enfant(s) ?

1 – Aucune

2 - < 5 euros

3 – 5-10 euros

3 - 10-20 euros

ANNEXE 3: Questionnaire distribué pour l'évaluation du dispositif de Réalité Virtuelle d'HypnoVR.

Quelles est votre expérience en matière de réalité virtuelle, de technologies ?:

- 1-Aucune
- 2-Faible
- 3-Moyenne
- 4-Importante
- 5-Passionné(e)

Quel a été selon vous la qualité de la prise en charge de votre douleur ?:

- 1-Très mauvaise
- 2- Mauvaise
- 3- Bonne
- 4- Très bonne
- 5- Excellente

Sur une échelle de 0 à 5, où 0 est une absence de douleur et 5 une douleur insupportable, où situeriez vous l'intensité de la douleur la plus importante que vous avez ressenti au cours des soins ?

Diriez-vous que les soins que vous avez reçus aux urgences étaient:

- 1-Très mauvais
- 2- Mauvais
- 3- Bons
- 4- Très bons
- 5- Excellents

Avez vous ressenti une quelconque gêne induite par le matériel de réalité virtuelle au cours des soins :

1- Aucune gêne

2- Faiblement

3- Moyenne

4- Gêne importante

A quel point vous êtes vous senti(e) immergé(e) dans le paysage de réalité virtuelle ?

1-Pas du tout

2-Faiblement

3-Moyennement

4-Totalement

Avez-vous ressenti des effets indésirables au cours du geste (nausées, vertiges, maux de tête) ?:

Oui

Non

Si oui lesquels?

Seriez vous prêt(e) à renouveler l'expérience de réalité virtuelle lors de vos prochaine prise en charge ?

1- Oui

2- Je ne sais pas

3- Non

RAPPELS STATISTIQUES :

VARIANCE :

La variance est une mesure de la dispersion des valeurs d'un échantillon

$$V(X) = \frac{1}{n} \left(n_1 (x_1 - \bar{X})^2 + n_2 (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + n_p (x_p - \bar{X})^2 \right)$$

- n = effectif
- x = valeur de la variable
- X = moyenne de l'échantillon

ECART-TYPE :

L'écart-type sert à mesurer la dispersion d'un ensemble de valeurs autour de leur moyenne. Il est égal à la racine carrée de la variance.

MÉDIANE :

La médiane d'un ensemble d'un échantillon est la valeur qui permet de couper l'ensemble des valeurs de l'échantillon en deux parties égales.

ANOVA :

Méthode statistique définie comme la somme des écarts au carré par rapport à la moyenne d'une variable. La comparaison des variances d'une ou de plusieurs variables est appelée analyse de variance ou ANOVA. Elle peut être à un facteur « one way ANOVA » ou à plusieurs facteurs.

RÉGRESSION LINÉAIRE :

La régression linéaire est une méthode statistique permettant d'évaluer la corrélation entre une variable Y avec une variable X . La variable Y est appelée variable dépendante (à étudier) et la variable X est appelée variables indépendante. La régression linéaire peut être multiple si associée à plusieurs variables.

TEST DE FRIEDMAN :

Le test de Friedman est un test statistique non-paramétrique, représenté comme une alternative à l'ANOVA permettant de tester les différences entre des groupes et de mettre en évidence une différence entre les traitements.

LEMOINE Nicolas - ÉVALUATION DE LA PRISE EN CHARGE DE LA DOULEUR PAR DES DISPOSITIFS DE RÉALITÉ VIRTUELLE

Résumé français :

Le ressenti de la douleur et sa gestion sont des composantes primordiales dans la prise en charge globale des patients du monde entier. Les traitements pharmacologiques de référence actuels sont efficaces mais possèdent certaines limites ainsi que des coûts importants. À ce jour, il existe des alternatives à ces traitements comme la sophrologie, l'hypnose ou la prise en charge par la Réalité Virtuelle.

La Réalité Virtuelle est une technologie innovante développée depuis plusieurs années à l'aide de nombreuses recherches dans tous les domaines médicaux. Le but de cette thèse est de référencer les principales études effectuées au sujet de la Réalité Virtuelle et d'étudier certains dispositifs mis en place dans certaines cliniques de France afin de dresser un bilan sur l'efficacité de celle-ci dans la gestion de la douleur chez les patients.

Rubrique de classement : GESTION DE LA DOULEUR

Mots-clés : douleur, contrôle de la douleur, réalité virtuelle,

Mots-clés anglais MeSH : pain, pain control, virtual reality,

Présidente : Madame SPARFEL-BELIVET Lydie

JURY : Assesseurs : Mr DELALANDE Olivier

Mme LE MONS Claire

Mr SAMSON François
