

UNIVERSITÉ DE NANTES

UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2020

N° 3637

La réalité virtuelle peut-elle avoir
un intérêt en odontologie
pédiatrique ?

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR

EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Tiago PACHECO PEREIRA

Né le 22/09/1992

Le 19 juin 2020 devant le jury ci-dessous :

Président : Mme. le Professeur Brigitte ALLIOT-LICHT

Assesseur : Mme. le Docteur Bénédicte ENKEL

Assesseur : Mme. le Docteur Emmanuelle RENARD

Assesseur : Mme. le Docteur Sylvie DAJEAN-TRUTAUD

Directeur de thèse : Mme. le Professeur Brigitte ALLIOT-LICHT

UNIVERSITE DE NANTES	
<u>Président</u> Pr LABOUX Olivier	
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE	
<u>Doyen</u> Pr GIUMELLI Bernard <u>Assesseurs</u> Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre	
PROFESSEURS DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte	M. LESCLOUS Philippe
M. AMOURIQ Yves	Mme PEREZ Fabienne
M. BADRAN Zahi	M. SOUEIDAN Assem
M. GIUMELLI Bernard	M. WEISS Pierre
M. LE GUEHENNEC Laurent	
PROFESSEURS DES UNIVERSITES	
M. BOULER Jean-Michel	
MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES	
Mme VINATIER Claire	
PROFESSEURS EMERITES	
M. JEAN Alain	
ENSEIGNANTS ASSOCIES	
M. GUIHARD Pierre (Professeur Associé)	Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)
MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.	ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES DES C.S.E.R.D.
M. AMADOR DEL VALLE Gilles	M. ALLIOT Charles
Mme ARMENGOL Valérie	Mme ARRONDEAU Mathilde
Mme BLERY Pauline	Mme BARON Charlotte
M. BODIC François	M. BOUCHET Xavier
Mme CLOITRE Alexandra	Mme CLOUET Roselyne
Mme DAJEAN-TRUTAUD Sylvie	M. FREUCHET Erwan
M. DENIS Frédéric	M. GUIAS Charles
Mme ENKEL Bénédicte	Mme HASCOET Emilie
M. GAUDIN Alexis	Mme HEMMING Cécile
M. HOORNAERT Alain	M. HIBON Charles
Mme HOUCHMAND-CUNY Madline	M. HUGUET Grégoire
Mme JORDANA Fabienne	M. KERIBIN Pierre
M. KIMAKHE Saïd	M. OUVRARD Pierre
M. LE BARS Pierre	M. RETHORE Gildas
Mme LOPEZ-CAZAUX Serena	M. SARKISSIAN Louis-Emmanuel
M. NIVET Marc-Henri	M. SERISIER Samuel
M. PRUD'HOMME Tony	
Mme RENARD Emmanuelle	
M. RENAUDIN Stéphane	
Mme ROY Elisabeth	
M. STRUILLLOU Xavier	
M. VERNER Christian	
PRATICIENS HOSPITALIERS	
Mme DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier)	Mme QUINSAT Victoire (Praticien Hospitalier Attaché)
Mme BRAY Estelle (Praticien Hospitalier Attaché)	Mme RICHARD Catherine (Praticien Hospitalier Attaché)
Mme LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier Attaché)	Mme HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel)

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le conseil de la
Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises
dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être
considérées comme propre à leurs auteurs et qu'il n'entend leur
donner aucune approbation, ni importance.**

REMERCIEMENTS :

A madame le Professeur Brigitte ALLIOT LIGHT

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Département d'Odontologie Pédiatrique, Sciences Biologiques

-NANTES-

*Pour m'avoir fait l'honneur de présider et diriger cette thèse,
Pour votre réactivité, votre disponibilité et votre bienveillance dans l'encadrement de mon travail,
Recevez ici le témoignage de mes plus sincères remerciements.*

REMERCIEMENTS :

A madame le Docteur Sylvie DAJEAN-TRUTAUD

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Département d'Odontologie Pédiatrique

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans ce jury,

Pour votre gentillesse et vos conseils durant toutes ces années d'études,

Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma reconnaissance.

REMERCIEMENTS :

A madame le Docteur Bénédicte ENKEL

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Département d'Odontologie Conservatrice

-NANTES-

*Pour m'avoir fait le plaisir de rejoindre ce jury,
Pour vos précieux conseils et votre gentillesse lors de mes débuts en clinique,
Recevez ici l'expression de ma sincère gratitude et de ma sympathie.*

REMERCIEMENTS :

A Madame le Docteur Emmanuelle RENARD

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Département de Parodontie

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans ce jury,

Pour votre enseignement, clinique et théorique,

Veillez trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Table des matières :

INTRODUCTION :	10
1 LA REALITE VIRTUELLE, LA REALITE AUGMENTEE	11
1.1 ORIGINES : LA VISION STEREOSCOPIQUE	11
1.1.1 Perception du relief et vision stéréoscopique	11
1.1.2 Les inventions modernes	15
1.1.2.1 Le cinéma stéréoscopique ou cinéma en relief	15
1.1.2.2 La Sensorama de Morton Heilig	16
1.1.2.3 L'ultimate display	17
1.1.2.4 Programme VIVED de la NASA	17
1.1.2.5 Les récentes avancées	19
1.2 REALITE VIRTUELLE, REALITE AUGMENTEE, REALITE MIXTE	19
1.2.1 Réalité virtuelle	19
1.2.1.1 La réalité virtuelle immersive	20
1.2.1.2 La réalité virtuelle non-immersive	20
1.2.2 Réalité augmentée	21
1.2.3 Réalité mixte	21
1.2.4 Les différences entre la réalité virtuelle, la réalité augmentée et la réalité mixte	22
1.2.5 Hardware et Software	23
1.2.5.1 Hardware	23
1.2.5.2 Software	24
2 LA REALITE VIRTUELLE AGIT-ELLE EFFICACEMENT FACE A LA DOULEUR OU L'ANXIETE ?	25
2.1 REALITE VIRTUELLE ET DOULEUR	25
2.1.1 Rapport dentiste-patient-douleur	25
2.1.2 Définition de la douleur et ses composantes	26
2.1.3 Outils d'évaluation de l'anxiété et de la douleur	31
2.1.3.1 Les outils objectifs (hétéro-évaluation)	31
2.1.3.2 Les outils subjectifs (auto-évaluation)	33
2.1.3.3 Les marqueurs physiologiques	39
2.1.4 Douleur et distraction	40
2.1.5 Rôle de la réalité virtuelle dans la gestion de la douleur	42
2.1.5.1 Ce type de distraction est-il applicable lors des procédures médicales ?	43
2.1.5.2 Existe-t-il une supériorité analgésique de la distraction RV face à d'autres distractions ou face à d'autres analgésiques ?	43
2.1.5.3 Est-ce une méthode reproductible ?	45
2.1.6 Effets secondaires et impératifs de la réalité virtuelle	45
2.1.6.1 Effets secondaires négatifs ou de contre-indications : la maladie du simulateur	45
2.1.6.2 L'importance de la présence d'immersion	45
2.1.6.3 L'importance du matériel	47
2.1.6.4 L'importance du logiciel	48
2.2 REALITE VIRTUELLE ET ANXIETE	49
2.2.1 Quelques définitions	49
2.2.2 La réalité virtuelle pour traiter l'anxiété et la phobie dentaire	51
2.3 REALITE VIRTUELLE ET HYPNOSE	53
2.4 EXEMPLES D'UTILISATION DE REALITE VIRTUELLE POUR LA PEDIATRIE	54
2.4.1 Réalité virtuelle lors de procédures douloureuses	54
2.4.2 Pédopsychiatrie	55

3	LA REALITE VIRTUELLE PEUT-ELLE TROUVER SA PLACE EN ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ?	56
3.1	QUELQUES UTILISATIONS DE LA REALITE VIRTUELLE EN ODONTOLOGIE	56
3.1.1	<i>Chirurgie</i>	56
3.1.2	<i>Prothèse</i>	57
3.1.3	<i>Parodontie</i>	58
3.1.3.1	L'utilisation de la réalité virtuelle lors de soins parodontaux	58
3.1.3.2	La réalité virtuelle face au MEOPA lors d'un surfaçage	59
3.2	LA REALITE VIRTUELLE FACE A L'ANESTHESIE EN ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE	61
3.2.1	<i>La peur de l'aiguille</i>	61
3.2.2	<i>La réalité virtuelle peut-elle limiter le nombre d'indication d'anesthésie générale ?</i>	62
3.2.3	<i>La réalité virtuelle lors de l'anesthésie avant une extraction dentaire</i>	63
3.2.4	<i>L'anesthésie en odontologie pédiatrique</i>	63
3.2.4.1	Distraction et anesthésie locale en odontologie pédiatrique	63
3.2.4.2	Réalité virtuelle face à la contre-stimulation	64
3.3	LA REALITE VIRTUELLE LORS DES SOINS D'ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE	66
3.3.1	<i>Sullivan</i>	66
3.3.2	<i>Etudes croisées randomisées en simple aveugle</i>	66
3.3.3	<i>La distraction par lunettes de réalité virtuelle afin de réduire l'anxiété des enfants de 6-10 ans lors d'une extraction dentaire</i>	68
3.3.4	<i>Effets de la distraction par réalité virtuelle sur le cortisol salivaire</i>	69
3.3.5	<i>Exemple de protocole utilisant la réalité augmentée dans le processus d'apprentissage du brossage dentaire</i>	70
	CONCLUSION	73
	BIBLIOGRAPHIE :	75
	TABLE DES FIGURES :	82
	TABLE DES TABLEAUX :	83

INTRODUCTION :

Le monde des jeux-vidéos est considéré comme le 10ème art. Dans ce domaine, les avancées technologiques permettent, par l'intermédiaire de la réalité virtuelle (RV), d'être immergé dans un monde virtuel auquel on accède grâce à un casque, le plus souvent, coupant le sujet du monde extérieur. Cet univers est parfois tellement immersif que l'utilisateur peut le confondre avec la réalité. Cette technologie semble avoir différentes applications, et en particulier en matière de santé.

Les outils numériques comme les empreintes optiques ou le cerec (Chairside Economical Restorations of Esthetic Ceramic) ont fait, peu à peu, leur apparition dans les cabinets dentaires. Si la plupart permettent d'améliorer et de faciliter les actes qu'entreprennent les chirurgiens-dentistes, la RV pourrait peut-être être utilisée pour améliorer la prise en charge de la douleur ou de l'anxiété des patients car la demande en solutions anxiolytiques ou antalgiques non-pharmacologiques est en augmentation.

La prise en charge de l'anxiété au cabinet dentaire peut être plus difficile en ce qui concerne les enfants ; ces derniers, peuvent exprimer plus difficilement qu'un adulte le motif d'une angoisse. Très utilisée en odontologie pédiatrique, la sédation consciente induite par un mélange équimolaire oxygène/protoxyde d'azote est une réponse efficace à cela mais elle n'est pas toujours facile à mettre en place au cabinet. De son côté, la réalité virtuelle, facilement utilisable, possède une capacité réelle à détourner l'attention portée par notre esprit sur un objet, une sensation ou un sentiment. Aussi, il est possible de se demander si cette technologie pourrait faire partie intégrante des solutions thérapeutiques applicables à l'odontologie pédiatrique.

Ce travail de thèse présente dans un premier chapitre les origines de la création de la réalité virtuelle et détaille ce qui la distingue des autres technologies similaires comme la réalité augmentée (RA). Dans un second chapitre, après avoir défini les notions de douleur et d'anxiété, les rôles et les mécanismes physiologiques de la réalité virtuelle dans la gestion de la douleur et de l'anxiété sont décrits. Enfin dans une troisième partie, ce travail détaille les différentes études traitant de l'utilisation de la réalité virtuelle en odontologie en générale et en odontologie pédiatrique en particulier. Dans ce chapitre, il a été fait le choix de réaliser une analyse de la littérature uniquement avec les articles les plus récents concernant la réalité virtuelle en odontologie pédiatrique (à partir des années 2000). Cela dans le but de rechercher des preuves de l'efficacité ou non de la RV par rapport aux méthodes traditionnelles de gestion de l'anxiété ou de la douleur et de définir les étapes de la consultation d'odontologie pédiatrique sur lesquelles la réalité virtuelle paraît la plus utile.

1 La réalité virtuelle, la réalité augmentée

Pour pouvoir expliquer la réalité virtuelle et ses principes, il faut d'abord s'intéresser à ce qui est à l'origine de son invention, notamment les principes de la vision stéréoscopique.

1.1 Origines : la vision stéréoscopique

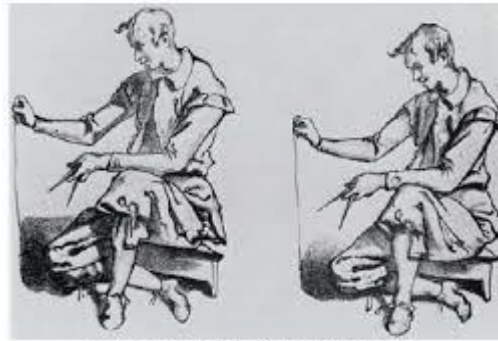
1.1.1 Perception du relief et vision stéréoscopique

Selon le Larousse :

- Stéréoscopie *n.f.* : Ensemble des principes qui régissent l'observation binoculaire et sa reproduction.
- Binoculaire *adj.* (latin bini pour « double » et oculus pour « yeux ») : Qui se fait par les deux yeux. Qui concerne les perceptions visuelles formées au moyen des informations reçues par les deux yeux. (ex. vision binoculaire)

L'un des tous premiers à s'être intéressé à la perception du relief ou du moins à tenter de le comprendre et de le reproduire dans la peinture est Léonard de Vinci. Il écrit dans son *Trattato della Pittura* : « une peinture, bien que réalisée avec le plus grand art et achevée à la dernière perfection, tant en ce qui concerne ses contours, ses lumières, ses ombres et ses couleurs, ne peut jamais montrer un relief égal à celui des objets naturels, à moins que ceux-ci ne soient visualisés à distance et d'un seul œil ». Cette citation exprime sa frustration sur le fait qu'un tableau à plat ne pourrait jamais complètement recréer la profondeur vécue lors de la visualisation d'objets réels, à moins d'être visualisé d'un seul œil (1).

De même Jacopo Chimenti (aussi appelé da Empoli) qui au XVI^{ème} siècle réalise *Le jeune homme assis* (Palais des Beaux-Arts de Lille), représentant deux visions d'un même sujet sous des angles légèrement différents, une pour chaque œil : des vues stéréoscopiques.



*Fig. 1: Woodcut by Jacopo Chimenti
(The Photographic Journal, 1862)*

Figure 1 Le Jeune homme assis, Jacopo Chimenti, <https://pba.lille.fr/Collections/Chefs-d- OEuvre/Dessins-et-photographies/Jeune-homme-assis>

Dans son traité, Léonard de Vinci comprend l'importance des deux yeux dans la perception du relief mais c'est Charles Wheatstone qui, en 1838, décrit pour la première fois le principe du relief grâce à la vision binoculaire. Comparée à la vision monoculaire, en plus de pouvoir conserver la vue en cas de perte d'un œil, la vision binoculaire procure 3 autres avantages : 1) un champ de vision élargi (le champ de vision binoculaire est de 120° auquel s'ajoute deux champs monoculaires d'environ 40°), 2) une augmentation de la capacité de détecter des objets faiblement lumineux et enfin 3) une appréciation précise des distances. C'est cette dernière notion que nous allons développer (1).

Selon Wheatstone, « il est impossible pour l'artiste de donner une représentation fidèle d'un objet presque solide, c'est-à-dire de produire un tableau qui ne soit pas distingué dans l'esprit de l'objet lui-même. Lorsque la peinture et l'objet sont vus avec les deux yeux, dans le cas de la peinture, deux images similaires sont projetées sur la rétine; dans le cas de l'objet solide, les images sont différentes». La vision stéréoscopique s'effectue donc quand on applique deux images en perspective légèrement différentes à chacune des rétines, le cerveau modélise alors les deux informations en une image tridimensionnelle. Wheatstone appuie son propos à l'aide de l'outil qu'il a lui-même inventé : le stéréoscope (1).

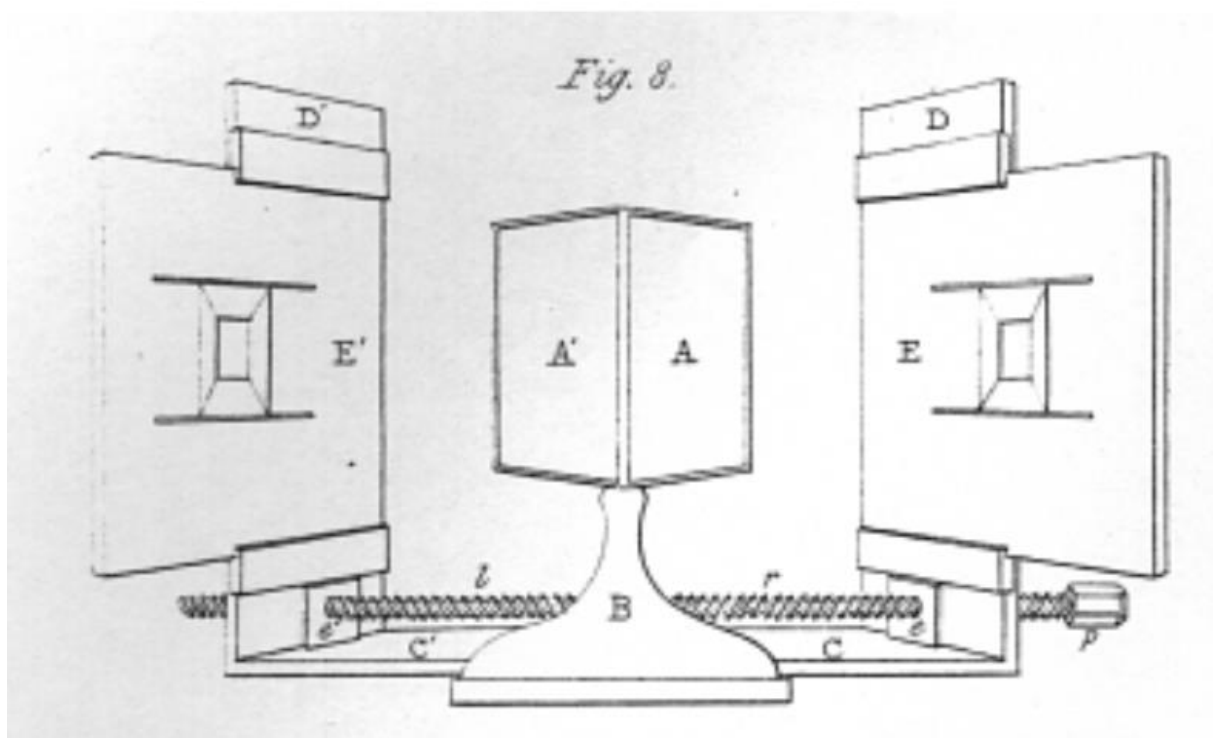


Figure 2 : Stéréoscope de Wheatstone (1)

En A et A', deux miroirs placés à 90° l'un de l'autre. Fixés sur un support B. C et C' sont deux plaques coulissantes sur lesquelles D et D' (deux plaques droites) sont fixées et dont il est possible de moduler la distance par rapport aux miroirs. Il est nécessaire que chaque plaque verticale soit à distance égale du miroir qui lui est opposé. Pour cela une vis à bois droite et gauche (l et r) est placée, de sorte qu'en tournant p dans un sens les deux plaques se rapprochent et dans l'autre sens, elles s'éloignent de la ligne médiane, tout en gardant à une distance identique des miroirs. E et E' permet aux plaques de glisser vers l'avant.

Les deux images sont placées légèrement différemment sur les plaques verticales, chacune à égale distance des miroirs. En regardant les images à travers les miroirs l'utilisateur a donc la sensation de voir la forme en trois dimensions (1).

Voici quelques exemples que Wheatstone a utilisé pour expliquer son stéréoscope :

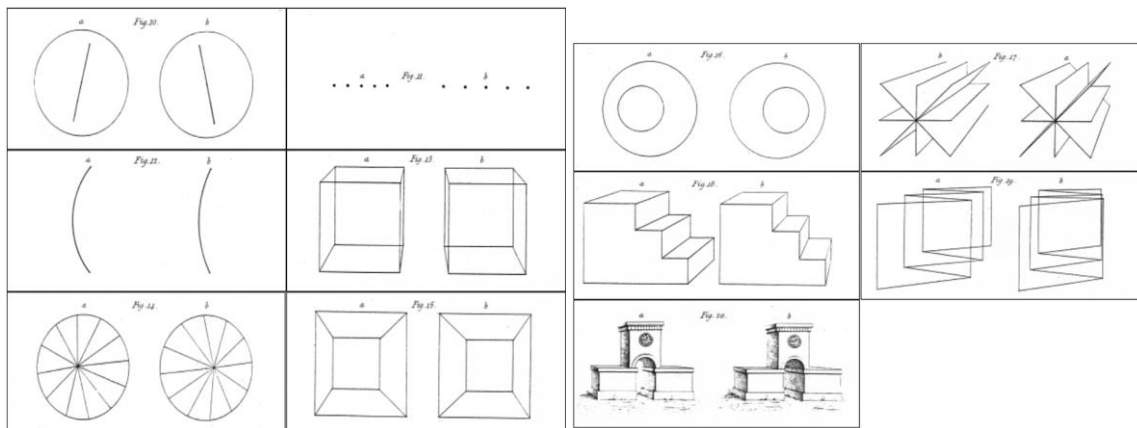


Figure 3 : Exemples de figures utilisées dans le stéréoscope, la forme « a » correspondant à un œil, la « b » à l'autre (1).

Selon Brooks *et al.*, 2017, bien que l'intention d'artistes comme De Vinci ou Chimenti soit impossible à mesurer dans une étude expérimentale, les effets causés par la visualisation de leurs créations sont eux mesurables. Ainsi, seul Dali présenterait dans certaines de ses œuvres une profondeur binoculaire évidente, bien après la diffusion des principes établis par Wheatstone. A travers son étude, Brooks et collaborateurs ne trouvent aucune preuve réfutant le fait que la première image réellement stéréoscopique serait de Sir Charles Wheatstone (2).

Après avoir été breveté en 1838, le stéréoscope de Wheatstone est amélioré par David Brewster et Jules Duboscq qui remplacent les miroirs par des lentilles. Ils présentent leur appareil à l'Exposition Universelle de Londres de 1851. La Reine Victoria s'y intéresse et la stéréoscopie devient à la mode ; une société basée à Londres vend un demi-million d'images stéréoscopiques entre 1856 et 1858, et jusqu'à un million en 1862 (3).

Le système ne cesse alors de s'améliorer. Notamment le stéréoscope de Holmes datant de la fin du XIX^{ème} siècle, permet l'observation de cartes stéréoscopiques.



Figure 4 : Stéréoscope de Brewster, <http://www.stereoscopie.eu/hist/histoire.htm>



Figure 5 : Stéréoscope de Holmes, <https://imagestereoscopiques.com/stereokezako/millions-vues-stereoscopiques/>

1.1.2 Les inventions modernes

1.1.2.1 *Le cinéma stéréoscopique ou cinéma en relief*

Au début des années 50, l'industrie du cinéma commence à s'intéresser à la stéréoscopie, alors très en vogue. Hitchcock, maître du suspense, réalise *Le Crime était presque parfait* (1954) notamment avec Grace Kelly. Il s'agit de l'un des tous premiers films en 3D, originellement filmé en relief stéréoscopique grâce à l'utilisation simultanée de deux caméras et nécessitant des lunettes polarisantes lors de la projection. Ces lunettes servent essentiellement à l'observation des images stéréoscopiques projetées en lumière polarisée sur un écran. Chaque œil ne reçoit que l'image qui lui est destinée, grâce à la polarisation de la lumière. La lumière destinée à l'autre œil ne traverse pas le filtre polarisant des lunettes, son orientation ne la laissant pas passer (4).

Très peu de spectateurs bénéficieront de l'expérience car le film ne sera projeté en relief que dans une seule salle. Trop coûteux à la réalisation et à la projection, le cinéma 3D n'apparaît qu'épisodiquement dans les années 70 avec par exemple *Chair pour Frankenstein* de Paul Morrissey et Antonio Margheriti produit par Andy Warhol (la peinture toujours présente dans les différents aspects de la stéréoscopie). Ce cinéma 3D connaîtra une résurgence dans les années 2000, grâce au bond technologique qui permettra de l'imposer comme atout commercial et artistique pour les « blockbusters » (5).

Morton Heilig est considéré comme le père de la réalité virtuelle (RV). Créée en 1956 puis brevetée en 1962, la Sensorama est une machine ressemblant à une borne de jeu d'arcade proposant une immersion sensorielle dans un film grâce à une image stéréoscopique à laquelle s'ajoute un son stéréophonique. Cette invention soufflait de l'air grâce à 9 ventilateurs (qui diffusait parfois des odeurs d'hibiscus, de jasmin, et même de pizza) et possédait un siège vibrant. Il suffisait d'y insérer une pièce et de choisir son film parmi plusieurs choix (une balade à moto dans Brooklyn, un parcours à bicyclette, une virée en buggy dans les dunes du désert, un vol en hélicoptère, ...). Heilig ne trouva jamais les financements nécessaires à une production industrielle, et la réalisation des films étant trop complexe et coûteuse, la *Sensorama* ne dépassa pas le stade de prototype. (6,7)

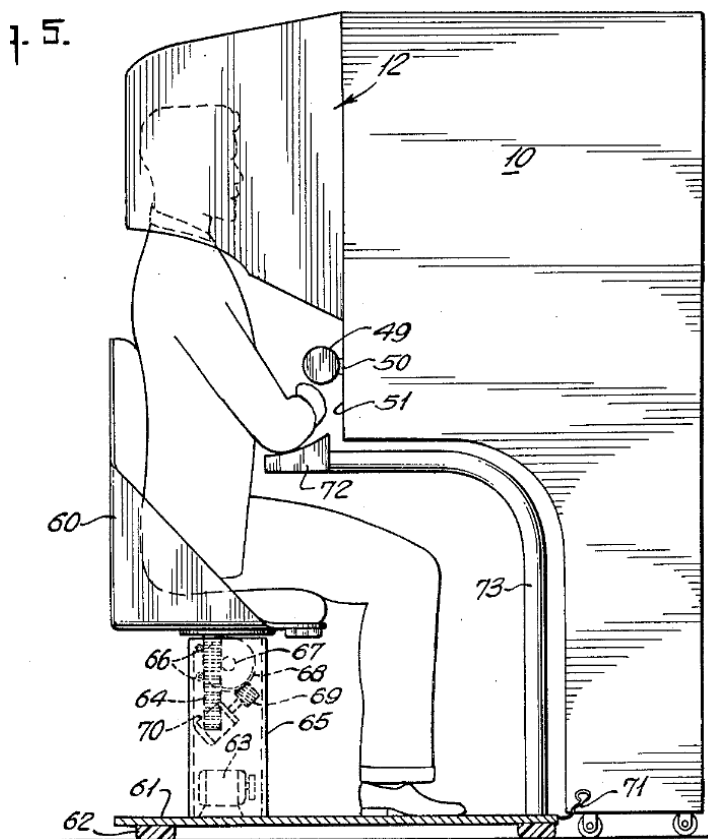


Figure 6 : Schéma de la Sensorama de Heilig (7)

1.1.2.3 *L'ultimate display*

Ivan Sutherland est connu dans le monde de l'informatique pour avoir obtenu le prix Turing en 1988 pour la création du logiciel Sketchpad, considéré comme l'ancêtre des éditeurs graphiques pour ceux qui font de la 3D (Pixar notamment). Entre 1965 et 1968, aidé d'un de ses étudiants, il conçoit l'Ultimate Display (aussi appelé *l'épée de Damoclès*). Il s'agit d'un casque ressemblant à l'Oculus Rift, qui permet de regarder des images de synthèse. La particularité de cette innovation réside dans les deux détecteurs de mouvements intégrés au casque modifiant l'image observée en fonction de la position de la tête et des mouvements de l'utilisateur (8). De ce fait certains considèrent son invention comme l'ancêtre des casques RV actuels.

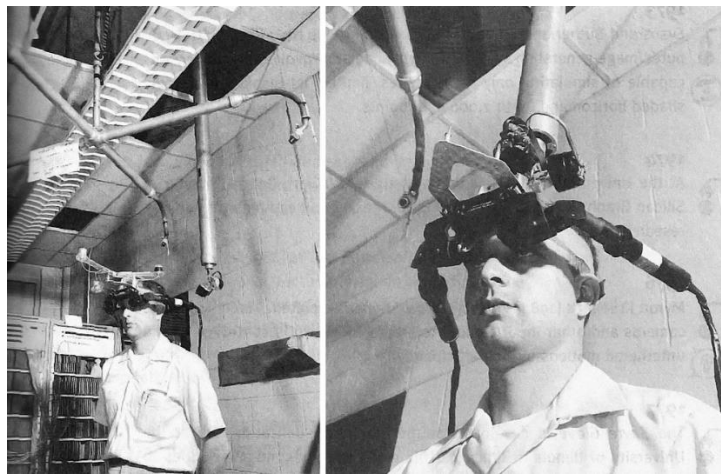


Figure 7 : Ultimate Display (8)

1.1.2.4 *Programme VIVED de la NASA*

En 1984, Michaël McGreevy, chercheur à la NASA Ames Research Center, lance le programme VIVED (Virtual Environment Display) plus tard appelé VIEW et repris par Scott Fisher. Ce programme est destiné à offrir aux astronautes un nouvel outil d'affichage d'informations et de données pour leurs futures missions spatiales (7). McGreevy est impressionné par des dispositifs de télévision portative à écran LCD tels que la Watchman de Sony. En 1985, il en achète deux, et fixe les écrans LCD à un casque de moto (9). On obtient le prototype suivant :

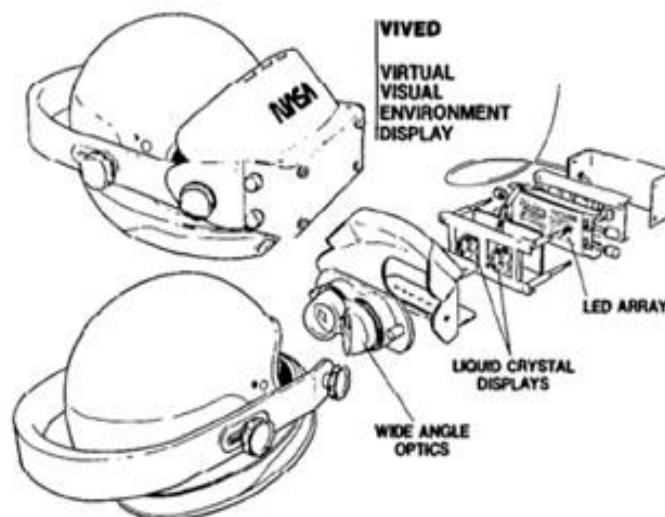


Figure 8 : Vue éclatée du casque mis au point par McGreevy pour le projet VIVED de la NASA (10)

Il est décrit comme «un système d’affichage stéréoscopique grand angle monté sur la tête, contrôlé par la position de l’opérateur, la voix et les gestes, [qui] a été développé pour être utilisé comme environnement d’interface polyvalente. Le système fournit un environnement d’affichage multisensoriel et interactif. L’utilisateur peut alors explorer virtuellement un environnement synthétisé ou télé-détekté à 360 degrés et peut interagir avec ses composants»(8). L’objet virtuel apparaît alors comme entourant complètement l’utilisateur.

Outre la vidéo, un système tridimensionnel sonore via des écouteurs vient également compléter l’expérience, permettant une immersion sonore avec des sons venant de l’intérieur et de l’extérieur du champ de vision, variant en fonction de leur localisation et de leur distance. Le système VIVED va aussi tenir compte de la sensation tactile grâce au port de Data Gloves créant un retour haptique (sensibilité cutanée) inventés par Thomas Zimmerman. Le retour haptique est un retour tactile permettant de ressentir le toucher dans la réalité virtuelle. Ce sont des gants légers équipés de capteurs qui permettent l’enregistrement des mouvements et de la position des bras, des mains et des doigts : cela permet une meilleure immersion dans la réalité virtuelle. McGreevy encourage ensuite des entreprises américaines à développer leur propre casque (3).

Il faudra attendre les années 1990 pour que de nombreux produits commerciaux à technologie RV apparaissent, tout particulièrement dans le secteur des jeux vidéo. On peut citer la *Virtuality* créée par Jonathan Waldern ou encore la *Virtual Boy* de Nintendo, le plus gros échec commercial de la firme nipponne (6). Malgré la forte popularité de la réalité virtuelle à cette époque, elle peine à s'imposer en raison de l'écart entre les attentes du public et les limites technologiques.

1.2 Réalité virtuelle, réalité augmentée, réalité mixte

L'idée derrière la RV est un monde simulé, qui fonctionne par un système informatique. La RV est un ensemble de technologies informatiques qui, lorsqu'elles sont combinées, fournissent une interaction et captent les sens des utilisateurs, ce qui la distingue des autres technologies telles que la télévision. L'effet de la RV est souvent basé sur le résultat de la présence ou de l'immersion qu'elle produit. Parmi ces technologies informatiques, en plus de la réalité virtuelle, on peut compter la réalité augmentée et la réalité mixte.

1.2.1 Réalité virtuelle

La réalité virtuelle (*Virtual Reality* en anglais) englobe toutes les expériences immersives disponibles via un casque de réalité virtuelle (aussi appelé HMD pour *head-mounted display*). L'utilisateur est totalement coupé du monde réel, dans un environnement virtuel visible grâce au casque de réalité virtuelle (10).

Exemple de casque de réalité virtuelle : *l'Oculus Rift*



Figure 9 : Casque de réalité virtuelle Oculus rift avec commandes manuelles haptiques,
https://www.oculus.com/rift/?locale=fr_FR#oui-csl-rift-games=mages-tale

La littérature distingue parfois la RV immersive de la RV non-immersive.

1.2.1.1 *La réalité virtuelle immersive*

L'immersion est obtenue en supprimant autant de sensations du monde réel que possible, et en les remplaçant par les sensations correspondantes dans l'univers virtuel. Plus un système retransmet fidèlement les sensations réelles, plus il sera immersif. Pour cela le système inclut, par exemple, la taille du champ visuel humain (environ 200°), les aspects stéréoscopiques de la vision, les aspects "surround" du son (un son qui entoure et dont on peut distinguer la provenance), un "tracking" efficace (suivi de la position de l'utilisateur dans l'environnement) ou encore une manette haptique avec plusieurs degrés de liberté. Si la présence dans l'environnement virtuel est une perception psychologique ressentie par l'utilisateur, l'immersion est l'aspect technologique créant le sentiment d'avoir quitté le monde réelle (10,11).

1.2.1.2 *La réalité virtuelle non-immersive*

La RV non-immersive regroupe les expériences RV pour lesquelles l'utilisateur ne ressent pas le sentiment d'être réellement dans l'environnement virtuel. D'un point de vue technologique, cela s'exprime par l'absence d'un ou plusieurs critères d'immersion cités précédemment, par exemple en

utilisant une plateforme qui n'obstrue pas complètement le champ de vision de l'utilisateur, ou même en remplaçant le casque par un écran d'ordinateur ou de portable (11).

1.2.2 Réalité augmentée

Moins immersive que la réalité virtuelle, en 1997, Azuma définit la réalité augmentée (RA) comme *«une interface virtuelle, en 2 ou 3 dimensions, venant enrichir la réalité en y superposant des informations complémentaires (des objets virtuels, animations, textes, données, sons, etc). Objets réels et virtuels se confondent, à la manière d'un film comme Space Jam ou Roger Rabbit»* (12). Un contenu numérique vient s'ajouter à l'environnement réel vu par l'utilisateur, comme une surimpression. L'affichage s'effectue sur un écran visible par l'utilisateur, le plus souvent via des lunettes de réalité augmentée ou via un smartphone avec une application spécifique offrant des capacités de réalité augmentée (12).

Exemples d'utilisation de réalité augmentée : *Histoverly : entreprise française qui propose une «visite augmentée» de nombreux sites historiques et musées français, exposition au MoMA de New-york totalement en réalité augmentée, formation, jeux vidéo (pokemon go)...*

1.2.3 Réalité mixte

La réalité mixte (RM) a longtemps été considérée comme tout ce qui se situe entre RA et RV sans entrer réellement dans l'une de ces deux catégories (13). Elle combine plusieurs technologies. Un casque de réalité mixte permet d'intégrer des éléments virtuels dans le monde réel en permettant à ces éléments d'interagir avec l'environnement. L'utilisateur n'est pas coupé du monde réel, il peut voir au travers du casque ou des lunettes de réalité mixte. Plus proche de la réalité augmentée, la réalité mixte se différencie par le fait de pouvoir manipuler et interagir physiquement avec des éléments 3D (13). Par exemple :



Figure 10 : Microsoft HoloLens 2, casque de réalité mixte, <https://www.microsoft.com/fr-fr/hololens>

1.2.4 Les différences entre la réalité virtuelle, la réalité augmentée et la réalité mixte

Le réalisme : Les systèmes de réalité virtuelle remplacent complètement le monde réel par un environnement virtuel, ils ont donc des exigences bien plus élevées en matière de réalisme par rapport à la RA. La réalité augmentée complète le réel donc ses objectifs d'application ne nécessitent pas nécessairement de rendu réaliste (12).

Les périphériques d'affichages : Les affichages monochromes peuvent convenir à certaines applications de réalité augmentée, alors que pratiquement tous les systèmes RV utilisent actuellement la couleur. Ceci est dû aux exigences moins strictes concernant les périphériques d'affichage pour la réalité augmentée que pour la réalité virtuelle (12).

Les casques (HMD) optiques : Les casques avec un petit champ de vision peuvent être satisfaisants pour la RA car l'utilisateur peut toujours voir le monde réel avec sa vision périphérique. La RA permet également l'utilisation de HMD transparents ne fermant pas le champ de vision normal de l'utilisateur, ce qui est impossible pour la réalité virtuelle car elle a besoin de l'immersion totale de l'utilisateur : aussi appelé la téléprésence (12).

Le suivi et la détection du mouvement : alors que dans les deux cas précédents, les exigences de la RA étaient inférieures à celles de la RV, ce n'est pas le cas pour le suivi et la détection du mouvement (capacité à avoir un suivi réaliste du mouvement ainsi qu'un meilleur positionnement dans l'espace). Dans ce domaine, les exigences en matière de RA sont beaucoup plus strictes que celles des systèmes RV. Les traqueurs de suivi présents dans le commerce répondent assez bien à la demande de la réalité virtuelle mais pas à celle de la réalité augmentée selon Azuma (12).

1.2.5 Hardware et Software

Comme la plupart des systèmes informatiques et numériques, on peut séparer les composantes de la réalité virtuelle en 2 catégories. Ce que l'on appelle le *hardware* (matériel) et le *software* (logiciel).

1.2.5.1 *Hardware*

Le Hardware est un anglicisme qui en informatique est synonyme de matériel (par opposition au logiciel). C'est en quelque sorte la partie physique et matérielle de la réalité virtuelle. Il s'agit principalement du casque ou des lunettes, utilisés pour la réalité virtuelle. Le hardware, inclut également les gants, les stylets ou les manettes servant au rendu haptique, ainsi que le système son. Actuellement, devant les enjeux que représentent la réalité virtuelle, de nombreuses entreprises ont développé leurs propres modèles de matériel de réalité virtuelle (10,14).

Parmi ces modèles on peut citer :



Figure 11 : HTC vive pro, <https://www.vive.com/fr/>



Figure 12 : ALLOSKY HEADSET de Skylights, <https://www.skylights.aero/>

Skylights est une firme développant des lunettes et logiciels pour matériels d'affichages de réalité virtuelle, spécialisée dans la relaxation lors des trajets en avion. Au cours d'un salon sur les nouvelles technologies à New-York, Alex Podebryi remarque ces lunettes et s'associe à ALLOSKY pour développer ALLOSMILE : lunettes RV destinées exclusivement à l'usage en dentisterie



Figure 13 : Samsung Gear VR, <https://www.samsung.com/fr/wearables/gear-vr/>

La demande de contenu RV augmente, et ce dans des domaines variés tels que l'industrie, la médecine mais aussi et surtout le divertissement (jeux vidéo en tête de liste). On est face à une demande croissante et diversifiée, et les fabricants se doivent d'adapter leurs modèles à la demande. Le confort sera parfois privilégié dans certains domaines comme la médecine ou la relaxation. En effet, dans ces cas, l'utilisation de casques légers, peu volumineux, silencieux sera préférable. Pour des demandes plus immersives, comme le jeu vidéo ou l'hypnose, la qualité vidéo et audio sera le critère principal, nécessitant parfois une augmentation de la taille des casques utilisés (10).

1.2.5.2 Software

Anglicisme qui en informatique, est synonyme de logiciel. C'est l'image ou la vidéo retransmise par le matériel. Parfois inclus directement au casque, il peut également être indépendant et téléchargé séparément afin de renouveler l'expérience différemment (10,14).

2 La réalité virtuelle agit-elle efficacement face à la douleur ou l'anxiété ?

2.1 Réalité virtuelle et douleur

En odontologie, le rapport à la douleur tient une place prépondérante. Elle peut à la fois être le motif de la consultation (cas d'une urgence) mais elle peut également être source de stress, anxiété, et même d'évitement du soin au cabinet dentaire. La gestion de la douleur fait partie intégrante de la profession, et face aux demandes grandissantes de solutions non-pharmacologiques, les chirurgiens-dentistes doivent s'adapter. Des études récentes concernant les systèmes de vision stéréoscopiques placent beaucoup d'espoir dans la réalité virtuelle. Son aspect reproductible, adaptable et immersif en fait un candidat non négligeable au cabinet dentaire pour tenter d'obtenir chez le patient une modulation de la perception de la douleur.

Nous aborderons dans un premier temps différents aspects de la douleur puis nous ferons une revue de la littérature concernant le rôle de la réalité virtuelle sur l'anxiété et la perception de la douleur.

2.1.1 Rapport dentiste-patient-douleur

Selon un sondage d'Opinion Way, réalisé en 2016 pour la plateforme Doctolib, 48 % de français ont encore peur d'aller chez le dentiste aujourd'hui (55% pour les femmes, 40% pour les hommes) et en particulier la tranche d'âge des 25-34 ans (54%). La principale raison étant la douleur. Toujours selon le même sondage, leur angoisse tendrait à augmenter avec l'approche du rendez-vous. L'aspect psychologique de la douleur dentaire est parfois négligé. La peur de la douleur peut être aussi aiguë que la douleur elle-même, et peut engendrer des comportements irrationnels : des patients qui refusent d'ouvrir la bouche, montrent des niveaux de stress incontrôlables ce qui entraîne des retards dans les traitements nécessaires (ils seraient 17% à avoir eu envie de reporter, voir même d'annuler leur rendez-vous chez le dentiste à cause du stress) (15). Combattre la douleur et la peur des soins est devenu une nécessité technique incontournable et une obligation déontologique vis-à-vis des données acquises de la Science. Dans sa pratique clinique, le dentiste se doit donc de tenir compte de la dimension de la douleur subjective oro-faciale et des affects angoissants qui l'accompagnent (16).

Pour cela, en plus des techniques pharmacologiques tels que les analgésiques, d'autres méthodes non-pharmacologiques ont été utilisées pour réduire la perception de la douleur au cours de procédures médicales douloureuses. La distraction cognitive en fait partie.

2.1.2 Définition de la douleur et ses composantes

L'IASP ou International Association for the Study of Pain, 1979 (l'association internationale d'étude de la douleur) définit la douleur comme une « expérience sensorielle et émotionnelle désagréable liée à une lésion tissulaire réelle, potentielle ou décrite en ces termes par le patient ». Cette douleur dépend de facteurs personnels, sociaux, géographiques, historiques, philosophiques et/ou religieux (17).

Elle présente 4 composantes bien distinctes :

- **La composante sensori-discriminative** : caractéristiques physiques de la douleur (qualité, durée, intensité, localisation).
- **La composante affectivo-émotionnelle** : qui est le retentissement sur notre affect ou notre humeur (gêne, anxiété, angoisse, dépression,...).
- **La composante cognitive** : sens que l'on donnera à la douleur et à notre attitude vis-à-vis de celle-ci (elle dépend de notre histoire, notre religion, notre culture, de notre capacité à s'extraire de la douleur ou de la gérée).
- **La composante comportementale** : c'est la modification de notre comportement ou celui de notre entourage en réponse à notre douleur, pouvant alors soulager ou renforcer cette douleur. Cela se manifeste par des actions verbales (plainte, cris, pleurs) ou non verbales (mimiques, protection, évitement). Par exemple, les jeunes enfants expriment tout par leur comportement (la douleur est souvent lisible sur le visage), particulièrement si le langage fait défaut. Le comportement est également défini par notre histoire, religion, culture, etc. L'enfant intègre peu à peu ce comportement dans l'enfance (18).

Pour tous ces aspects, on constate que la douleur est une expérience avant tout subjective et désagréable. Elle constitue la principale raison pour laquelle les gens consultent un médecin ou un dentiste. Cette observation est loin d'être étonnante puisque l'une des fonctions principales de la douleur est de nous alerter que quelque chose ne va pas et menace notre intégrité physique. On retrouve ces aspects variés dans le fonctionnement physiologique du cerveau. En effet, le concept de « centre unique de la douleur » pouvant rendre compte, lors de son activité, de tous les aspects de la

douleur n'existe pas. Les études portant sur la douleur font plutôt état de plusieurs régions précises du cerveau, interconnectées, s'activant ou s'inhibant pour nous faire ressentir la douleur (son intensité, sa localisation, une émotion, une réaction, etc). Le paradigme actuel définit la douleur comme une succession de signaux classés en voies ascendantes ou descendantes de la nociception. Ces voies font intervenir plusieurs régions du cerveau que l'on peut appeler « matrice de la douleur » (18).

Quelques rappels anatomiques et physiologiques sont nécessaires avant de poursuivre. Tout d'abord, physiologiquement la douleur peut s'expliquer sommairement par cet enchaînement de mécanismes : un signal douloureux active une fibre associée à la nociception A- δ ou C. Ce neurone, dans la substance grise de la moelle spinale, active un neurone secondaire qui va faire remonter le signal par la voie contralatérale pour traiter l'information. Après avoir rejoint la formation réticulée du tronc cérébral, puis certains noyaux du thalamus, le message douloureux atteint le cortex cérébral. Ce trajet constitue la voie ascendante de la nociception, même s'il faut plutôt parler des voies ascendantes de la nociception au vu de la multiplicité de celles-ci (18).

La douleur rencontrée au cabinet dentaire possède un mécanisme quelque peu différent. La douleur orofaciale passe par le complexe sensitif du trijumeau situé dans le tronc cérébral et non par la moelle spinale. Le nerf trijumeau (V) est la 5^{ème} paire des nerfs crâniens. Il s'agit d'un nerf mixte : le contingent sensitif innerve la face et le contingent moteur les muscles masticateurs (19).

Le V moteur innerve les muscles masticateurs : temporal, masséter, ptérygoïdien. Le V sensitif est formé des trois branches sensitives V1, V2 et V3, se rejoignant au niveau du ganglion de Gasser :

- nerf ophtalmique (V1), formé de la réunion des nerfs nasal, frontal et lacrymal. La zone innervée par le V1 comprend le front, la région orbitaire, la cornée, la région temporale supérieure et antérieure, la racine du nez et la muqueuse nasale.
- nerf maxillaire (V2) reçoit des téguments de la lèvre supérieure, de la joue, de la paupière inférieure, de la région temporale, des gencives, de la cloison des fosses nasales, du palais et des 2/3 antérieurs du rhino-pharynx et de la muqueuse du sinus maxillaire.
- nerf mandibulaire (V3) reçoit des téguments de la tempe, du menton, des dents et gencives de la mâchoire inférieure, des 2/3 antérieurs de la langue et de la muqueuse buccale et des joues.

Certaines des branches du nerf trijumeau contiennent des fibres nerveuses végétatives, vasomotrices et sécrétoires. Le message nociceptif part, ici, d'un protoneurone trigéminal possédant des fibres A- δ et C pour atteindre le complexe sensitif du trijumeau situé dans le tronc cérébral, de ce complexe partent les voies ascendantes vers les structures centrales (cortex cérébral, l'amygdale ou

l'hypothalamus par l'intermédiaire de relais situés dans le thalamus ou la formation réticulée bulbaire). Ces structures participent à l'intégration des différents aspects de la douleur, sensori-discriminatif, moteur, végétatif et émotionnel (19).

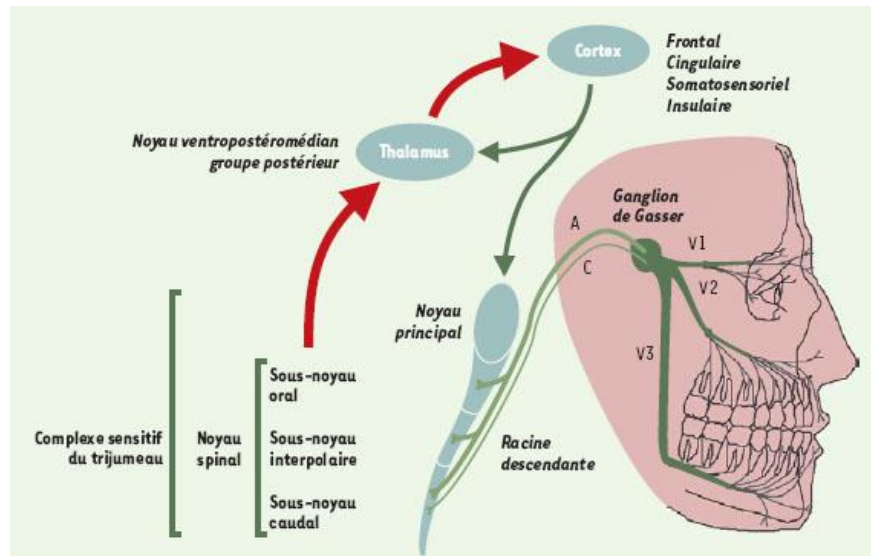


Figure 14 : Schéma de l'organisation du complexe sensitif du trijumeau et de ses connexions, selon R. Dallel et al. (19)

Sur le schéma : A: fibres A; C: fibres C; V1: nerf ophtalmique; V2: nerf maxillaire; V3: nerf mandibulaire.

Cette représentation de l'organisation du complexe sensitif du trijumeau, ci-dessus, est tirée d'un article publié en 2003 par R. Dallel *et al.* Les flèches rouges illustrent les voies ascendantes issues du complexe sensitif du trijumeau ou du thalamus, et les flèches vertes les voies descendantes issues du cortex (19).

En parallèle, les voies descendantes de la nociception vont permettre la modulation de la douleur ainsi que l'établissement d'un comportement en réaction à celle-ci (18,20).

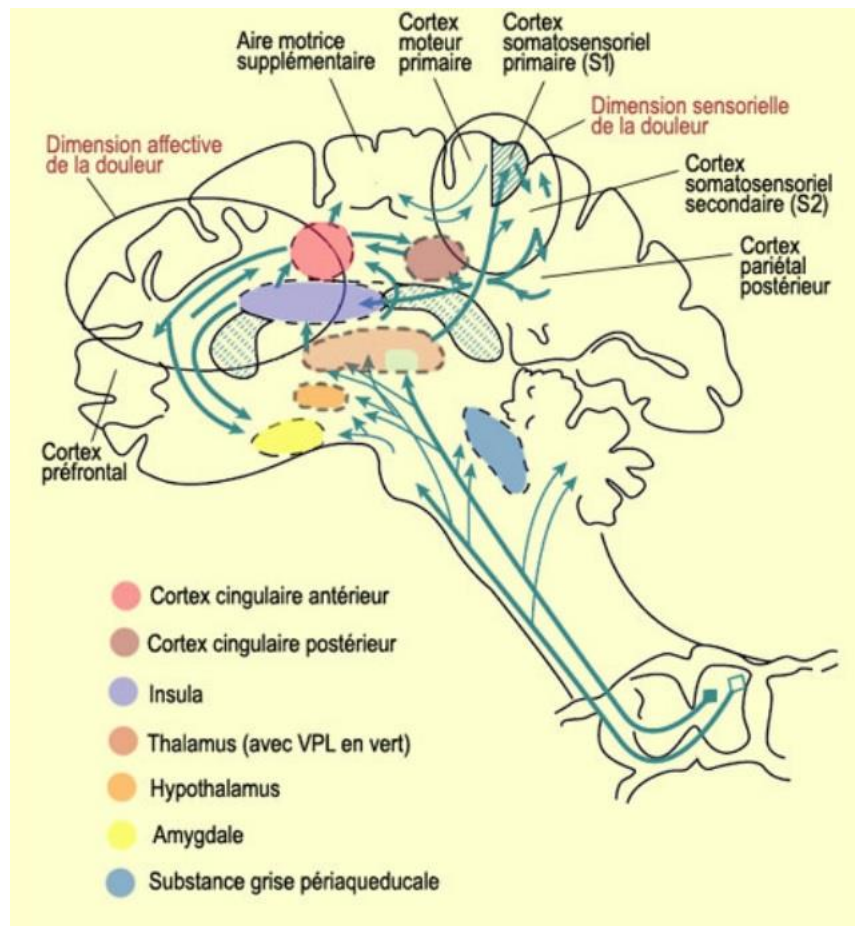


Figure 15 : Schéma d'une coupe transversale de l'encéphale représentant les différentes afférences neuronales d'un message nociceptif (27)

Les régions du cerveau faisant partie de ce qu'on appelle la « matrice du cerveau » sont entre autres (18) :

- **La réticulée.** Située dans le tronc cérébral, son activité contribue aux réactions d'éveil et de vigilance associées à la douleur. Ses neurones peuvent agir sur le rythme cardiaque, la pression artérielle, la respiration et d'autres fonctions vitales que la douleur peut affecter. C'est aussi la formation réticulée qui fait qu'une douleur peut passer inaperçue si notre attention est focalisée sur une tâche captivante.
- **Les cortex somatosensoriels primaires (S1) et secondaires (S2) :** Ces zones reçoivent l'information venant des noyaux thalamiques (notamment le VPL : ventro-postéro-latéraux). Si on assigne généralement à S2 un rôle dans la reconnaissance de la douleur et la mémoire des douleurs passées, S1 est associé pour sa part à la localisation de l'endroit douloureux et à

l'intensité de la douleur. A l'imagerie, plus la douleur est évaluée comme intense par le sujet, plus on observe une activité corticale en S1 .

- **Les noyaux thalamiques :**

- Les noyaux VPL jouent un rôle majeur dans la discrimination sensorielle de la douleur. Leurs neurones projettent leur axone aux cortex somatosensoriels.
- La partie médiane du thalamus reçoit les connexions de la formation. Cette zone participe à l'élaboration des réactions motrices et émotionnelles liées à la douleur.
- Les noyaux intralaminaires : près de la région médiane, cette zone participe à la réponse d'éveil à la douleur. En plus du lobe frontal, les noyaux intralaminaires vont rejoindre différentes régions du système limbique. Et comme le cortex frontal envoie lui-même de nombreuses projections vers le système limbique, c'est un système impliqué dans la composante émotionnelle désagréable de la douleur et à la réponse comportementale destinée à l'amoindrir.

- **Le cortex préfrontal** n'est pas seulement engagé dans les fonctions dites «supérieures» impliquant souvent l'attention, mais aussi dans l'apprentissage des sensations nociceptives, et donc dans le développement d'un affect négatif associé à ces situations. Il intervient dans l'anticipation et le contrôle de la douleur. Il jouerait un rôle notamment lors de l'effet placebo, diminuant l'activité des structures précédentes (thalamus, cortex somatosensoriels S1 et S2, etc) afin d'atténuer une douleur et de permettre au cerveau de maintenir un niveau de concentration nécessaire à l'accomplissement d'une tâche.

- **Le cortex insulaire** produirait un contexte émotionnel adéquat pour une expérience sensorielle donnée. Il est associé aux processus de douleur ainsi qu'à plusieurs émotions de base comme la colère, la peur, le dégoût, la joie ou la tristesse.

- **Le cortex cingulaire** joue lui aussi un rôle d'interface important entre l'émotion et la cognition, plus précisément dans la transformation de nos sentiments en intentions et en actions. Il est impliqué dans des fonctions supérieures comme le contrôle des émotions, la concentration sur la résolution d'un problème, la reconnaissance de nos erreurs, la promotion de réponses adaptatives en réponse à des conditions changeantes.

- **Le mésencéphale** (constitué des pédoncules cérébraux, du tegmentum mesencephali et du tectum mesencephali), il régit des fonctions élémentaires comme l'attention, l'habituatation, le sommeil, ou encore le réveil.

- **La substance grise périaqueducale (SGPA)** est située dans le tegmentum du mésencéphale. Son activation, en parallèle avec le cortex préfrontal, durant l'anticipation d'un soulagement va dans le sens de l'hypothèse voulant que des mécanismes préfrontaux déclenchent la libération d'opioïdes endogènes dans la substance grise périaqueducale lors d'un effet

placebo. Cette région reçoit des afférences des fibres nociceptives ascendantes, susceptibles, elles aussi, de déclencher les mécanismes de contrôle descendant qu'exerce cette région sur les neurones de la corne dorsale de la moelle épinière.

2.1.3 Outils d'évaluation de l'anxiété et de la douleur

Quelques rappels sur les différents outils servant à mesurer l'anxiété et la douleur. On distingue les outils objectifs (ceux complétés par le praticien, un parent, une infirmière, etc, il s'agit d'une hétéro-évaluation) des outils subjectifs (complétés par le patient lui-même, il s'agit d'une auto-évaluation). Les marqueurs physiologiques peuvent également être utilisés afin d'étudier des éventuelles réactions du corps humain en situation de stress, d'anxiété ou lors de sensation douloureuse.

2.1.3.1 *Les outils objectifs (hétéro-évaluation)*

○ Évaluation de l'anxiété :

- **VCARS** (Venham's Clinical Anxiety Rating Scale) : créé par Venham, constituée de 6 items (de 0 à 5) le praticien choisit en fonction des critères qu'il aura décelé chez le patient (enfant) (21).

0 = Détendu : souriant, capable de converser, affiche le comportement souhaité par le dentiste

1 = Mal à l'aise : concerné, peut protester brièvement pour indiquer un inconfort, les mains restent baissées ou partiellement levées. Expression faciale tendue. Capable de coopérer.

2 = Tendu : le ton de la voix, les questions et les réponses reflètent l'anxiété. Pendant une procédure stressante, protestation verbale, pleurs, mains tendues et levées, mais sans trop interférer. Protestation distrayante et gênante. L'enfant répond favorablement à la demande de coopération.

3 = Réticent : protestation verbale prononcée, pleurs. Utilise les mains pour essayer d'arrêter la procédure. Le traitement se déroule difficilement.

4 = Interférent : pleurs, mouvements corporels nécessitant parfois une contrainte physique. La protestation interrompt la procédure.

5 = Hors de contact : jurons durs et forts, cris, incapables d'écouter, essayant de s'échapper. Contention physique requise.

Tableau 1: Les 6 Items du VCARS (21)

- **Frankl** : échelle comportementale. Le dentiste choisit parmi 4 items en fonction de ce qu'il ressent du comportement du patient. Elle peut être utilisée pour définir l'attitude du patient face à un soin, une douleur, par exemple.

1 = Particulièrement négatif: refus de traitement, pleure avec force, peur ou toute autre preuve manifeste de négativisme extrême

2 = Négatif: réticent à accepter un traitement, peu coopératif, certaines preuves d'une attitude négative mais non prononcée.

3 = Positif: Acceptation du traitement, parfois prudente, suit les directives du dentiste, parfois avec réserve.

4 = Particulièrement positif: Bon rapport avec le dentiste, intéressé par les procédures dentaires, souriant et appréciant la situation.

Tableau 2 : Les 4 Items de Frankl (21)

○ Echelles d'évaluation de la douleur :

- **Échelle FLACC** (Face Legs Activity Cry Consolability) : Elaborée et validée initialement pour évaluer la douleur postopératoire chez des enfants de 2 mois à 7 ans. C'est une échelle comportementale simple et rapide d'emploi, valable à tout âge jusqu'à l'âge de l'autoévaluation. Elle sert également pour la douleur de la personne avec handicap cognitif. Chaque item est coté de 0 à 2, donnant un score total allant de 0 à 10. Le praticien remplit le tableau en fonction du comportement affiché par le patient.

VISAGE	0 Pas d'expression particulière ou sourire 1 Grimace ou froncement occasionnel des sourcils, retrait, désintéressé 2 Froncements fréquents à permanents des sourcils, mâchoires serrées, tremblement du menton
JAMBES	0 Position habituelle ou détendue 1 Gêné, agité, tendu 2 Coups de pieds ou jambes recroquevillées
ACTIVITE	0 allongé calmement, en position habituelle, bouge facilement 1 Se tortille, se balance d'avant en arrière, est tendu 2 Arc-bouté, figé, ou sursaute
CRIS	0 Pas de cris (éveillé ou endormi) 1 Gémissements ou pleurs, plainte occasionnelle 2 Pleurs ou cris constants, hurlements ou sanglots, plaintes fréquentes
CONSOLABILITE	0 Content, détendu 1 Rassuré occasionnellement par le toucher, l'étreinte ou la parole. Peut être distrait 2 Difficile à consoler ou à réconforter
SCORE TOTAL /10	
OBSERVATIONS	

Tableau 3 : Echelle FLACC (21)

Il est recommandé d'utiliser cette échelle en complément d'une auto-évaluation lorsque c'est possible. Les scores obtenus indiquent le niveau de douleur ressenti par le patient : 0 = détendu et confortable ; 1-3 = léger inconfort ; 4-6 = douleur modérée ; 7-10 = douleur sévère ou inconfort majeur

- **SEM (Sound Ear and Motor)** : échelle d'évaluation de la douleur basée sur le comportement du patient selon 3 critères : le son, les yeux et les mouvements. Aucune étude n'a validé cliniquement cet outil.

Observations	Confort	Inconfort		
		Faible douleur	Douleur modérée	Douleur importante
Son	Pas de sons indiquant de douleur	Sons non spécifiques; indication possible de la douleur	Des plaintes verbales spécifiques font monter la voix	La plainte verbale indique une douleur intense (un cri, des sanglots)
Yeux	Aucun signe oculaire indiquant une gêne	Yeux écarquillés, inquiétude, pas de larmes	Yeux larmoyants, yeux flottants	Pleurs, larmes coulant sur le visage
Mouvements	Mains détendues; aucune tension corporelle apparente	Les mains montrent une certaine détresse ou tension, saisissent la chaise en raison de l'inconfort, de la tension musculaire	Mouvement aléatoire des bras ou du corps sans intention agressive de contact physique, grimace, contraction	Mouvement aléatoire des bras ou du corps sans intention agressive de contact physique, grimace, contraction

Tableau 4 : Echelle Sound Ear Motor (SEM) (22)

2.1.3.2 Les outils subjectifs (auto-évaluation)

- Evaluation de la douleur :
- **EVA (échelle visuelle analogique)** : échelle allant de 0 à 10 permettant au patient de quantifier sa douleur. Initialement conçue pour évaluer l'intensité de la douleur ressentie, l'EVA peut être détournée pour évaluer d'autres critères (l'anxiété, l'inconfort, la qualité de l'immersion de la RV, par exemple). Utilisable à partir de 4-6 ans, l'utilisation correcte d'une EVA nécessite un niveau de développement cognitif et d'abstraction permettant à l'enfant de comprendre que la ligne représente un continuum d'intensité croissante de douleur.

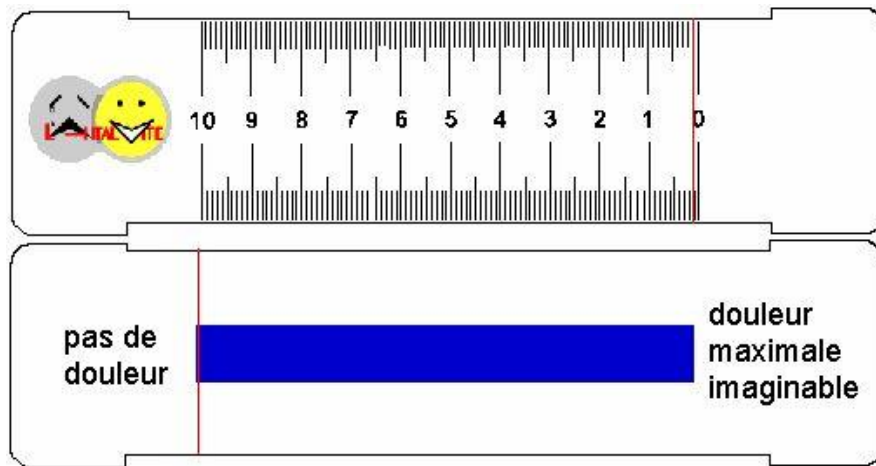


Figure 16 : Exemple d'échelle EVA, face graduée au verso (en haut) visible par le praticien, et la face recto visible par le patient, http://www.antalvite.fr/pdf/echelle_visuelle_analogique.htm

- **CAS (color analogue scale)** : variante de l'EVA, utilisant un dégradé de couleur pour que le patient définisse la douleur ressentie. Au verso une échelle graduée indique l'intensité de douleur du patient (23).

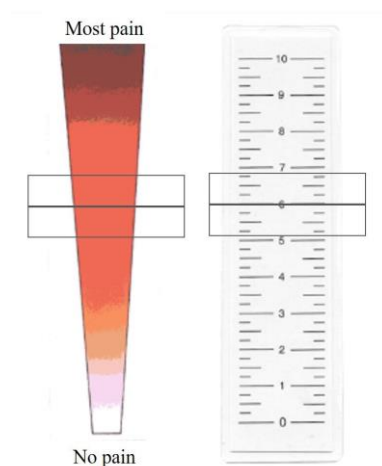


Figure 17 : échelle CAS (23)

- **WBF (Wong-Baker faces)** : échelle de douleur semblable à l'EVA, se différenciant par le fait de mettre des visages pour évaluer l'état de douleur. L'enfant choisit le visage qu'il identifie comme similaire au sien, selon ce qu'il ressent.



Figure 18: Echelle de la douleur Wong-Baker Faces, <https://wongbakerfaces.org/instructions-use/>

○ Evaluation de l'anxiété :

- **CORAH (ou CDAS pour Corah Dental Anxiety Scale)** : Cet outil comprend quatre questions à choix multiples reprenant les réactions subjectives du patient correspondant chacune à une situation dentaire différente (24) :
 - concernant sa réaction à l'idée de se rendre chez le chirurgien-dentiste :
 - je vois cela comme une expérience agréable,
 - ça ne m'a rien fait,
 - ça me met un peu mal à l'aise,
 - j'ai peur que cela soit douloureux et désagréable
 - je suis vraiment stressé par ce que le dentiste va devoir me faire
 - concernant le sentiment ressenti dans la salle d'attente :
 - relaxé,
 - un peu mal à l'aise,
 - tendu,
 - anxieux
 - tellement anxieux que je me sens mal
 - concernant le ressenti sur le fauteuil avant le début du soin :
 - mêmes propositions que précédemment
 - concernant le ressenti lors du soin :
 - mêmes réponses que précédemment

Un score de 1 à 5 est attribué à chaque réponse. Les scores vont de 4 = aucune anxiété, à 20 = extrêmement anxieux.

Initialement conçu pour les adultes, les questions posées par ce questionnaire sont difficiles pour les jeunes enfants, en 1989 Murray *et al.* y apportent des modifications afin de pouvoir l'utiliser chez l'enfant de 9 à 2 ans devenant ainsi la CDAS (Child Dental Anxiety Scale) (25).

- **MCDAS (Modified Child Dental Anxiety Scale)** : cette version modifiée de la CDAS est publiée en 1998 par Wong *et al* (26), dans un article où son utilisation pour évaluer l'anxiété dentaire des enfants entre 8 et 15 ans est validée. Un score MCDAS est obtenu après que le patient ait répondu à une série de 8 questions. Pour chaque question, 5 réponses sont possibles parmi :
 - 1 : relaxé / pas inquiet
 - 2 : très peu inquiet
 - 3 : assez inquiet
 - 4 : très inquiet
 - 5 : extrêmement inquiet

Que ressens-tu quand :

- ... tu vas chez le dentiste ?
- ... on inspecte une de tes dents ?
- ... on polie une de tes dents ?
- ... tu as une anesthésie ?
- ... on te soigne une dent ?
- ... on t'extraie une dent ?
- ... tu es endormi lors d'un traitement ?
- ... on utilise un mélange gazeux t'aidant à te sentir confortable durant le traitement, sans pour autant t'endormir ?

Tableau 5 : Exemple de 8 questions (MCDAS) pour des patients en odontologie pédiatrique (26)

En 2007, dans un article publié en 2007, la MCDAS(f) pour (faces version of the MCDAS) est validée pour évaluer l'anxiété notamment des enfants de 8-12ans (27). Dans cette version, contrairement au MCDAS les 5 réponses possibles sont remplacées par des visages représentant un niveau de douleur. L'enfant choisit parmi 5 visages celui qui représente le mieux son anxiété.



Figure 19 : visages utilisés pour répondre à la MCDAS(f)(27)

- **SCARED (Screen for Child Anxiety Related Emotional Disorders)** : questionnaire à remplir par le patient ou ses parents. Ce questionnaire va définir un score permettant de connaître l'état d'anxiété du patient. Il permet d'identifier des enfants anxieux, développant de la phobie

scolaire ou une anxiété sociale. Ce questionnaire est souvent utilisé dans les études pour exclure les patients ayant un score au-dessus de 25, synonyme de trouble de l'anxiété. D'autres « troubles » peuvent être diagnostiqués selon les différents scores obtenus. Développé en 1997 par Birmaher *et al.*, puis validé en 1999 (28,29). Une méta-analyse datant de 2018 confirme la robustesse et la pertinence de ce questionnaire en médecine (30).

Screen for Child Anxiety Related Disorders (SCARED)
CHILD Version—Page 1 of 2 (to be filled out by the CHIL.D)

Developed by Boris Birmaher, MD, Susanta Khetarpal, MD, Marlene Cully, MEd, David Brent, MD, and Sandra McKean, Ph.D., Western Psychiatric Institute and Clinic, University of Pittsburgh (October, 1993). E-mail: birmaher@upmc.edu

See Birmaher, B, Brent, D. A., Chiapetta, L., Bridge, J., Monga, S., & Balager, M. (1999). Psychometric properties of the Screen for Child Anxiety Related Emotional Disorders (SCARED): a replication study. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 38(10), 1230-6.

Name: _____ Date: _____

Directions:
Below is a list of sentences that describe how people feel. Read each phrase and decide if it is "Not True or Hardly Ever True" or "Somewhat True or Sometimes True" or "Very True or Often True" for you. Then, for each sentence, fill in one circle that corresponds to the response that seems to describe you *for the last 3 months*.

	0 Not True or Hardly Ever True	1 Somewhat True or Sometimes True	2 Very True or Often True	
1. When I feel frightened, it is hard to breathe	○	○	○	PN
2. I get headaches when I am at school.	○	○	○	SH
3. I don't like to be with people I don't know well.	○	○	○	SC
4. I get scared if I sleep away from home.	○	○	○	SP
5. I worry about other people liking me.	○	○	○	GD
6. When I get frightened, I feel like passing out.	○	○	○	PN
7. I am nervous.	○	○	○	GD
8. I follow my mother or father wherever they go.	○	○	○	SP
9. People tell me that I look nervous.	○	○	○	PN
10. I feel nervous with people I don't know well.	○	○	○	SC
11. I get stomachaches at school.	○	○	○	SH
12. When I get frightened, I feel like I am going crazy.	○	○	○	PN
13. I worry about sleeping alone.	○	○	○	SP
14. I worry about being as good as other kids.	○	○	○	GD
15. When I get frightened, I feel like things are not real.	○	○	○	PN
16. I have nightmares about something bad happening to my parents.	○	○	○	SP
17. I worry about going to school.	○	○	○	SH
18. When I get frightened, my heart beats fast.	○	○	○	PN
19. I get shaky.	○	○	○	PN
20. I have nightmares about something bad happening to me.	○	○	○	SP

Screen for Child Anxiety Related Disorders (SCARED)
CHILD Version—Page 2 of 2 (to be filled out by the CHIL.D)

	0 Not True or Hardly Ever True	1 Somewhat True or Sometimes True	2 Very True or Often True	
21. I worry about things working out for me.	○	○	○	GD
22. When I get frightened, I sweat a lot.	○	○	○	PN
23. I am a worrier.	○	○	○	GD
24. I get really frightened for no reason at all.	○	○	○	PN
25. I am afraid to be alone in the house.	○	○	○	SP
26. It is hard for me to talk with people I don't know well.	○	○	○	SC
27. When I get frightened, I feel like I am choking.	○	○	○	PN
28. People tell me that I worry too much.	○	○	○	GD
29. I don't like to be away from my family.	○	○	○	SP
30. I am afraid of having anxiety (or panic) attacks.	○	○	○	PN
31. I worry that something bad might happen to my parents.	○	○	○	SP
32. I feel shy with people I don't know well.	○	○	○	SC
33. I worry about what is going to happen in the future.	○	○	○	GD
34. When I get frightened, I feel like throwing up.	○	○	○	PN
35. I worry about how well I do things.	○	○	○	GD
36. I am scared to go to school.	○	○	○	SH
37. I worry about things that have already happened.	○	○	○	GD
38. When I get frightened, I feel dizzy.	○	○	○	PN
39. I feel nervous when I am with other children or adults and I have to do something while they watch me (for example: read aloud, speak, play a game, play a sport).	○	○	○	SC
40. I feel nervous when I am going to parties, dances, or any place where there will be people that I don't know well.	○	○	○	SC
41. I am shy.	○	○	○	SC

SCORING:
A total score of ≥ 25 may indicate the presence of an Anxiety Disorder. Scores higher than 30 are more specific. **TOTAL =** _____
A score of 7 for items 1, 6, 9, 12, 15, 18, 19, 22, 24, 27, 30, 34, 38 may indicate **Panic Disorder** or **Significant Somatic Symptoms**. **PN =** _____
A score of 9 for items 5, 7, 14, 21, 23, 28, 33, 35, 37 may indicate **Generalized Anxiety Disorder**. **GD =** _____
A score of 5 for items 4, 8, 13, 16, 20, 25, 29, 31 may indicate **Separation Anxiety SOC**. **SP =** _____
A score of 8 for items 3, 10, 26, 32, 39, 40, 41 may indicate **Social Anxiety Disorder**. **SC =** _____
A score of 3 for items 2, 11, 17, 36 may indicate **Significant School Avoidance**. **SH =** _____

Tableau 6 : Echelle SCARED (traduite en français (ci-dessous) et version originale(cideessus)) (16)

Score SCARED		0 Jamais ou presque jamais	1 Quelques fois	2 Souvent
1.	Quand j'ai peur, j'ai de la difficulté à respirer.			
2.	J'ai des maux de tête quand je suis à l'école.			
3.	Je n'aime pas être avec des gens que je ne connais pas.			
4.	J'ai peur quand je dors ailleurs qu'à la maison.			
5.	J'ai peur que les autres ne m'aiment pas.			
6.	Quand j'ai peur, je me sens comme si j'allais m'évanouir.			
7.	Je suis nerveux/nerveuse.			
8.	Je suis mes parents peu importe où ils vont.			
9.	Les gens me disent que j'ai l'air nerveux/nerveuse.			
10.	Je me sens nerveux avec les gens que je ne connais pas bien.			
11.	J'ai des maux de ventre quand je suis à l'école.			
12.	Quand j'ai peur, je me sens comme si j'allais devenir fou.			
13.	Je m'inquiète à l'idée de dormir seul.			
14.	Je me soucie d'être aussi bon/bonne que les autres enfants.			
15.	Lorsque j'ai peur, je me sens comme si les choses ne sont pas réelles.			
16.	Je fais des cauchemars à propos de choses négatives qui arrivent à mes parents.			
17.	Je m'inquiète à l'idée d'aller à l'école.			
18.	Lorsque j'ai peur, mon cœur bat très vite.			
19.	Je me sens tremblotant/tremblotante.			
20.	Je fais des cauchemars à propos de choses négatives qui arrivent à moi.			

21.	Que les choses aillent bien pour moi m'inquiète.				
22.	Quand j'ai peur je transpire beaucoup.				
23.	Je suis une personne inquiète.				
24.	Parfois, j'ai vraiment peur sans aucune raison.				
25.	J'ai peur d'être seul à la maison.				
26.	Il est difficile pour moi de parler à des personnes que je connais peu.				
27.	Quand j'ai peur, je me sens comme si j'étouffais.				
28.	Les gens me disent que je m'inquiète trop.				
29.	Je n'aime pas être loin de ma famille.				
30.	J'ai peur d'avoir des crises d'anxiété (ou de panique).				
31.	Je m'inquiète qu'il puisse arriver quelque chose de mal à mes parents.				
32.	Je suis gêné avec les gens que je ne connais pas bien.				
33.	Je m'inquiète à propos de ce qui va arriver dans le futur.				
34.	Quand j'ai peur, je me sens comme si j'allais vomir.				
35.	Je m'inquiète à propos de mes résultats.				
36.	J'ai peur d'aller à l'école.				
37.	Je me soucie de choses qui se sont produites dans le passé.				
38.	Quand j'ai peur, je me sens étouffé.				
39.	Je me sens nerveux/nerveuse en présence d'autres enfants ou adultes quand je dois faire quelque chose devant eux (par exemple : lire à voix haute, parler, jouer à un jeu, participer à un sport).				
40.	Je suis nerveux/nerveuse lorsque je vais à des fêtes, à des danses ou à tout autre endroit où il y a des gens que je ne connais pas bien.				
41.	Je suis gêné/gênée.				

- **Venham Pictures Test** : détaillé par Venham *et al.* dans une publication de 1979, il s'agit d'une sélection de 8 images représentant des enfants. Elle est spécialement conçue pour les enfants. Le patient auto-évalue son état d'anxiété en se comparant avec les visages représentés (31)

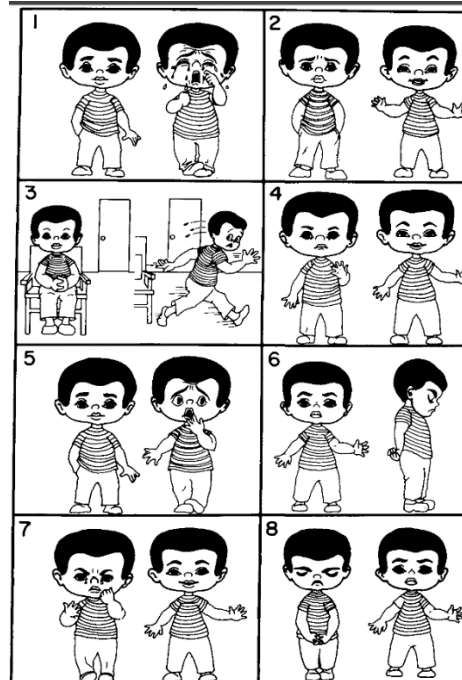


Figure 20 : Image du Venham Picture Test (31)

2.1.3.3 Les marqueurs physiologiques

Les marqueurs physiologiques de l'anxiété, utilisés dans les études détaillées ci-dessous sont :

- **Le taux de cortisol salivaire** : représentatif du taux de cortisol sérique, qui est à son plus haut niveau le matin au réveil puis diminue au cours de la journée. Il est moins invasif qu'une prise de sang qui peut augmenter le niveau de stress et donc créer des faux positifs. Il s'agit d'un prélèvement qui se fait grâce à un simple coton salivaire. De plus, le cortisol salivaire donne un bon aperçu du cortisol libre, biologiquement actif (32). Une situation stressante, un traitement, ou une maladie peut amener le corps à produire plus de cortisol. Dans une étude, Blair souligne l'intérêt de l'utilisation de ces marqueurs salivaires, en estimant que le dosage de la cortisone salivaire était plus précise que celle du cortisol (surtout dans le cas d'une diminution de cortisol sérique) (33)

- **Oxymétrie de pouls :** Elle permet de monter une modification du rythme cardiaque ou de la saturation de l'oxygène sanguin. Ce marqueur physiologique est souvent utilisé en complément d'autres outils, comme moyen d'évaluer la douleur ou l'anxiété avant, pendant et après un soin. Dans leur étude publiée en 2004, Conceição *et al.* ne trouvent pas de preuves significatives à l'utilisation de la fréquence cardiaque ou même la pression artérielle comme marqueur d'une anxiété préopératoire (34).

Une évaluation valide et pragmatique de la douleur est essentielle pour une gestion efficace de celle-ci. Chacun de ces outils peut apporter une aide à définir un état d'anxiété ou de douleur chez un patient mais il peut être judicieux de les combiner afin d'avoir plus de preuves. Les échelles unidimensionnelles qui capturent les cotes d'intensité de douleur autodéclarées sous-évaluent la complexité de l'expérience de la douleur. La douleur est une expérience biopsychosociale et son évaluation est une transaction sociale complexe dans laquelle patient et praticien sont influencés par leurs propres représentations et le sens attribués à la douleur. Ces représentations autour de la douleur sont difficiles à appréhender par ces outils. Pour cette raison, l'évaluation de la douleur nécessite une approche plus globale (27,35).

2.1.4 Douleur et distraction

Le traitement de la douleur est un sujet de recherche important, alors que les États-Unis sont aux prises avec une crise de dépendance aux analgésiques. A titre d'exemple, depuis les années 2000, la consommation d'opioïdes des américains – sous forme légale, détournée ou illégale – a causé plus de 300 000 décès par surdosage, donnant lieu à une crise sanitaire sans précédent. L'ampleur et la vitesse de progression de cette « crise des opioïdes » la rendent comparable à l'épidémie de VIH dans les années 1980 et 1990 (36). En 2018, le *Washington Post* déclare même qu'en termes de nombre de décès, cela représenterait l'équivalent d'une guerre du Viêtnam par an. A tel point que Donald Trump déclare en 2017 l'« état d'urgence sanitaire » (36). Si cette épidémie touche essentiellement les États-Unis, le phénomène est mondial, et l'on constate une hausse des décès par surdosage dans des pays comme le Canada, l'Australie et en Europe du Nord. La France étant pour le moment épargnée, grâce à un encadrement rigoureux de la prescription et de la délivrance du médicament ; un plan de repérage des signaux faibles a tout de même été mis en place pour anticiper une crise des opioïdes (36). En plus d'une réponse politique à cette crise, d'autres alternatives de gestion de la douleur sont activement recherchées. Parmi elles, figurent la méditation, l'hypnose ou l'acupuncture. La réalité virtuelle

représente pour certains, une de ces alternatives non médicales. La douleur nécessite une attention et si une partie de cette attention peut être détournée (par exemple, en interagissant avec la RV), le patient réagira plus lentement aux signaux de douleur entrants (18,37).

De nombreuses études expérimentales, ainsi que des observations cliniques, démontrent de manière convaincante que l'expérience de la douleur peut être modulée efficacement par l'attention. Elles montrent comment les processus cognitifs peuvent interférer avec la perception de la douleur (38–42). Ces études démontrent que la douleur peut être perçue comme moins intense quand une personne est distraite, par exemple, par une tâche cognitive difficile, de la musique, un film. À l'inverse, la douleur tend à augmenter proportionnellement à l'attention qu'on lui porte. Des études neurologiques alliant l'imagerie cérébrale fonctionnelle à la RV, ont montré que des modulations d'activations nociceptives liées à la distraction cognitive ont lieu dans diverses régions cérébrales corticales et sous-corticales sensibles à la douleur. Ces modulations sont accompagnées de modifications de la douleur subjective (38,40–44).

En 2012, Sprenger *et al.*, expérimentent les effets de la distraction dans la modulation de la douleur, en visualisant (grâce à une IRM de la moelle spinale cervicale) les effets d'une stimulation thermique nociceptive en regard de C6. Leurs résultats révèlent, de manière significative, une diminution nette du ressenti de la douleur lorsqu'on appliquait la stimulation nociceptive pendant que le patient réalisait une tâche nécessitant une grande concentration, comparée à une tâche plutôt simple à accomplir. Plus les patients étaient concentrés sur leur tâche, moins ils percevaient la douleur. Les images fournies par l'IRM allaient dans ce sens également, en montrant moins d'activité lorsque les patients étaient plus concentrés (45). Déjà en 2004, Valet, Sprenger *et al.*, cherchaient à repérer par l'intermédiaire du PET-scan et de l'imagerie IRM les zones du cerveau jouant un rôle dans la modulation de la douleur avec et sans distraction (44). Les résultats révèlent une diminution de la douleur ressentie chez les patients soumis à une distraction, ce qui est en accord avec les études décrites précédemment. L'étude révèle également que les deux groupes (avec et sans distraction) n'activent pas les mêmes zones du cerveau. Il est également mis en avant qu'une diminution de la perception de la douleur pendant la distraction était associée à une réduction de l'activité dans les zones cérébrales codant pour la douleur (CS1, CS2, cortex insulaire, cortex cingulaire). En revanche, l'activation du cortex préfrontal, du SGPA, du mésencéphale et du thalamus postérieur augmentait chez les patients dont on cherche à détourner l'attention. Bien qu'il n'existe actuellement aucune explication de ces résultats, il est probable que la modulation descendante, c'est-à-dire la mise en forme des signaux sensoriels de niveau inférieur par des circuits cérébraux d'ordre supérieur joue un rôle central dans le contrôle cognitif de la douleur (25).

L'étude de Sprenger *et al.* (2012), s'intéresse également aux opioïdes endogènes. Les auteurs ont donc réalisé une expérience similaire, à celle décrite ci-dessus, en y ajoutant un paramètre supplémentaire : ils ont donné aux participants soit de la naloxone (principal antagoniste des récepteurs morphiniques, donné notamment lors des intoxications aux morphiniques), soit un placebo. Résultats : la baisse de sensation de la douleur observée précédemment chez les participants ayant reçu la naloxone a été réduite de 40 %. S'occuper l'esprit pour lutter contre la douleur conduirait le corps, et le cerveau, à produire des opioïdes endogènes. Les chercheurs dans cette deuxième étude n'ont pas utilisé d'imagerie (IRM) pour comparer leurs résultats, ou pour localiser les zones d'action de la naloxone, et ils estiment cependant qu'il aurait fallu en parallèle mesurer l'activité cérébrale au niveau du cortex et de la moelle spinale afin d'apporter plus de preuves à l'existence d'un système régulant la réponse d'opioïdes endogènes par le simple fait de s'occuper l'esprit. Ces opioïdes endogènes, comme pour l'effet placebo, seraient produits grâce à l'interconnexion entre le cortex pré-frontal et la SGPA (18).

Regarder un film ou lire un livre peut fonctionner pour une personne qui souffre d'un léger inconfort. Cela ne stimulera pas suffisamment une personne souffrant d'une douleur intense, comme celle causée par la drépanocytose, le cancer ou encore les soins administrés aux grands brûlés, qui demanderont un niveau supérieur de distraction (18).

2.1.5 Rôle de la réalité virtuelle dans la gestion de la douleur

L'utilisation de la musique, ou encore la possibilité de regarder un film, font partie des techniques psychologiques (appelées distractions cognitives) pouvant favorablement diminuer la perception de la douleur (46). La réalité virtuelle immersive (RV) est une technique de distraction qui attire particulièrement l'attention. Elle est conçue pour donner aux utilisateurs l'illusion de pénétrer dans un environnement virtuel généré par ordinateur. La réalité virtuelle semble offrir une distraction cognitive importante aux utilisateurs car elle est le plus souvent interactive, utilise un écran monté sur la tête qui bloque les entrées visuelles et auditives du monde réel et peut parfois fournir des entrées multi sensorielles (visuelle, auditive et parfois tactile). Pour toutes ces raisons, des articles récents soutiennent l'hypothèse selon laquelle les thérapies par RV peuvent distraire efficacement les patients souffrant de douleurs chroniques et de douleurs aiguës stimulées, au cours d'essais. L'immersion du patient dans la réalité virtuelle interactive le distrait des stimuli douloureux et peut diminuer la perception de la douleur par un individu (47). On peut se demander si la RV est applicable à différents champs de la médecine, si elle est un analgésique efficace et si cette méthode est reproductible.

2.1.5.1 *Ce type de distraction est-il applicable lors des procédures médicales ?*

La diversité des patients et des procédures médicales étudiées montre que ces technologies peuvent être utilisées dans presque toutes les conditions dans lesquelles le patient est conscient. La diversité des systèmes de RV disponibles les rend adaptables à de nombreuses utilisations médicales. C'est ce qu'a voulu mesurer une étude datant de 2000, en utilisant la RV pour tenter de diminuer la douleur de patients grands brûlés lors des changements de pansements, acte particulièrement douloureux. Bien que faite sur un échantillon insuffisant (11 patients, avec une moyenne d'âge de 27ans) pour que les résultats puissent être rapportés à la population générale, la réalité virtuelle semble être efficace pour diminuer la sensation douloureuse et son efficacité augmenterait avec le degré de présence du patient (48). Ici est entendue par présence, la sensation permettant à une personne d'avoir l'impression d'être présent, de donner l'impression d'être présent, ou d'avoir un effet à un endroit autre que leur emplacement réel. Par extension, la téléprésence est permise par l'utilisation de techniques modulant le son, la vision et le toucher. Cependant le HMD et les écouteurs peuvent limiter considérablement la communication entre le patient et le professionnel de la santé. Les soignants peuvent ne pas recevoir de rétroaction optimale des patients en réponse à leurs gestes. Cela est à prendre en compte pour certains traitements spécifiques (49).

2.1.5.2 *Existe-t-il une supériorité analgésique de la distraction RV face à d'autres distractions ou face à d'autres analgésiques ?*

Une étude réalisée en 2012 par Kipping *et al.*, concerne également la distraction de patients brûlés durant un renouvellement de pansements sur un échantillon de 41 patients âgés de 11 à 17 ans. Ces adolescents sont répartis en deux groupes : un groupe (VRG) de 20 patients utilisant la VR en tant que distraction, l'autre groupe (SDG) (n=21) utilise une distraction standard grâce à une télévision. La douleur est auto-évaluée par les patients grâce à une échelle de type EVA. Les infirmières évaluent également la douleur de leurs patients par leurs comportements lors des soins grâce au questionnaire FLACC. Il a été réalisé également un suivi du pouls et du taux d'oxygène dans le sang. Ce sont des soins qui parfois nécessitent d'utiliser de l'Entonox (gaz composé d'un mélange équimolaire d'azote et d'oxygène : MEOPA), dont l'effet éventuel a également été étudié. Les résultats ont démontré qu'il n'y avait pas de différences statistiquement significatives de la douleur ressentie (EVA) par les deux groupes lors des soins de brûlures. Les indices physiologiques (oxymétrie de pouls) ne montrent pas non plus de différence significative entre les deux groupes pendant toute la durée du soin. A noter que pour les adolescents du groupe VRG, il y a eu une réduction statistiquement significative de la douleur observée par le personnel infirmier (FLACC) pendant le retrait du pansement, une réduction

statistiquement significative du nombre de recours à l'utilisation d'Entonox et globalement des scores moyens de douleur d'un niveau inférieur à celui du groupe SDG. Il y avait également un consensus général sur les scores moyens de douleur entre les adolescents, le personnel infirmier et les soignants, selon lequel le retrait du pansement était plus douloureux que l'application du pansement (50). Selon les auteurs, cette étude est encourageante, voyant la RV comme moyen de complément aux soins de patients adolescents brûlés et pouvant réduire la nécessité d'utilisation d'Entonox. De plus, bien que conscients de l'aspect multifactoriel de la douleur et de sa difficulté à être étudiée, cette étude permet de faire un pas de plus vers la compréhension du rôle de la RV sur la diminution de la douleur ressentie par les adolescents (50).

Dans une autre étude, Hoffman *et al.* comparent grâce à l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) l'activité cérébrale lors de stimulations thermiques douloureuses sur des patients (N=9) auxquels on a fourni différents moyens de contrôle de la douleur (aucun moyen de contrôle de la douleur, des opioïdes seuls, la réalité virtuelle seule, et la combinaison des deux) (51). L'étude en cross-over, se déroule en deux séances chacune comportant 2 actes : par exemple le premier jour, le sujet ne reçoit aucun opioïde, mais il subit un acte en utilisant la RV et un autre acte sans RV ; le deuxième jour, le même sujet subit de nouveau un acte avec et un acte sans RV, mais cette fois avec des opioïdes. L'ordre de traitement a été randomisé parmi les sujets pour chaque facteur (opioïde et VR). Les zones étudiées par l'imagerie font partie de ce qu'on appelle « la matrice de la douleur » : composée du thalamus, du cortex cingulaire antérieur, de l'insula, et des cortex somatosensoriels primaires (CS1) et secondaires (CS2), ce sont les zones impliquées lors de la perception de la douleur (18). En plus de l'imagerie médicale, ici utilisée comme moyen objectif d'évaluation de la douleur, l'étude utilise également un moyen subjectif (EVA) afin de renseigner sur le temps passé à penser à la douleur (dimension de la douleur cognitive), au désagrément de la douleur (dimension de la douleur affective) et à l'intensité de la douleur la plus intense (dimension de la douleur sensorielle) que les sujets ont connu lors d'une stimulation thermique. La combinaison des deux (RV et opioïdes) serait la plus efficace pour diminuer la sensation douloureuse (51). De plus, les résultats subjectifs concordent avec les résultats obtenus par l'imagerie. L'attention portée à la RV immersive limite l'attention consciente disponible pour la perception de la douleur, avec comme résultat l'atténuation de celle-ci. La quantité de plaisir rapportée lors de la stimulation de la douleur thermique était significativement plus élevée pendant l'utilisation de la RV, quelle que soit la condition opioïde : la RV immersive a augmenté les évaluations subjectives du plaisir pendant la stimulation de la douleur thermique. Cette étude, en utilisant la RV immersive, permet une meilleure compréhension des voies de la douleur. Cependant son échantillon étant faible et non représentatif de la population (8 hommes, pour 1 femme), elle ne permet donc pas d'étendre ses conclusions à la population générale (51).

2.1.5.3 *Est-ce une méthode reproductible ?*

En 2013, Faber *et al.* décrivent les bienfaits d'une utilisation répétée d'expériences de réalité virtuelle pour des soins sur des patients douloureux chroniques. 36 patients, de 8 à 54 ans ont été inclus dans cette étude. Elle a pour but d'étudier les effets répétés d'une utilisation de la RV, et de voir si cette méthode de distraction perd en efficacité après plusieurs utilisations sur des patients brûlés. Les résultats montrent que la réalité virtuelle continue d'être efficace même après plusieurs utilisations (52).

2.1.6 *Effets secondaires et impératifs de la réalité virtuelle*

2.1.6.1 *Effets secondaires négatifs ou de contre-indications : la maladie du simulateur*

La proximité et la qualité relativement floue des images peuvent provoquer des nausées, au moins chez les personnes sensibles : ceci est appelé la maladie du simulateur (*motion sickness* en anglais). Les programmes de réalité virtuelle fonctionnant sur des équipements de faible technologie (c.-à-d. des ordinateurs dotés de cartes graphiques de faible qualité) pourraient vraisemblablement provoquer ces nausées. Chez les personnes sujettes à la nausée (patients atteints de cancer recevant une chimiothérapie, par exemple), le mal des simulateurs peut aggraver la nausée (49). De plus, les patients qui ont besoin de passer beaucoup de temps avec une distraction RV ou AV (par exemple, soins de patients brûlés) peuvent avoir un risque accru de développer la maladie du simulateur. Mais selon les résultats de toutes les études examinées, les possibilités de maladie du simulateur sont rares (49).

2.1.6.2 *L'importance de la présence d'immersion*

En 2001, Schuemie *et al.* tentent de détailler la présence induite par la réalité virtuelle (53). Selon lui, elle doit être définie par :

- la richesse sociale : la capacité du support RV à être perçu comme moyen de sociabilisation, chaleureux, sensible ou personnel lorsqu'il est utilisé pour interagir avec d'autres personnes;
- le réalisme : à quel point le support peut sembler perceptible et/ou réaliste;
- le transport : la sensation d' « être là » ;
- l'immersion : niveau d'engagement des sens par le support ;

Bien que la réalité virtuelle soit toujours associée à l'immersion, les systèmes de réalité virtuelle sont classés en deux catégories principales, à savoir la réalité virtuelle immersive et non immersive. La présence d'immersion peut être considérée comme la puissance avec laquelle l'attention de l'utilisateur se concentre sur la tâche à accomplir. La présence d'immersion est généralement considérée comme le produit de plusieurs paramètres, notamment le niveau d'interactivité, la complexité de l'image, la vue stéréoscopique et le champ de prise en compte, ainsi que le taux de mise à jour de l'affichage. La pleine immersion est atteinte par un écran monté sur la tête, qui bloque la vue de l'utilisateur sur le monde réel et présente à la place aux patients une vue d'un monde généré par ordinateur. Toujours selon Schuemie *et al.* l'une des conséquences les plus importantes de la présence est la capacité à générer les mêmes types de réactions et émotions que pour une expérience réelle (53). Huit années plus tard, une étude permet d'illustrer l'importance de la présence d'immersion.

En effet, Nilsson *et al.* publient en 2009 une étude incluant 42 patients de l'unité d'oncologie pédiatrique du *Queen Silvia Children's Hospital*, d'un âge médian de 6,5 ans (entre 5-18). L'objectif de l'étude est d'évaluer l'intérêt d'une RV « non-immersive » lors d'une prise de sang (54). Deux groupes de 21 patients ont été constitués : un groupe utilisant la RV et l'autre non. La réalité virtuelle non-immersive a été permise par l'utilisation d'un écran de qualité médiocre, ne coupant pas le patient du monde extérieur (champ de vision non totalement coupé du monde extérieur) ainsi qu'une absence d'indication sur le système audio utilisé (si utilisé). Bien que non immersive et ne coupant pas totalement la vision du patient sur le monde extérieur, il s'agit bien de RV et non de RA : l'univers projeté ici sur le HMD n'est pas le monde réel auquel on ajoute des éléments virtuels, mais bien un univers différent, comme un dessin animé par exemple (54). Les outils d'évaluation de la douleur utilisés sont : l'échelle CAS (Color Analogue Scale), le FLACC rempli par le personnel médical selon les signes physiques de douleur décrits par leur patients, les constantes physiologiques (fréquence cardiaque et saturation d'oxygène), enfin un questionnaire sur le ressenti des patients concernant la RV (54).

Il n'a été constaté aucune différence significative entre les deux groupes (avec ou sans RV), quel que soit les outils d'évaluation utilisés. Seules les infirmières (par l'intermédiaire du FLACC) décrivent que les patients sous RV présentent moins de manifestations physiques et comportementales en réponse à la douleur. En s'intéressant au groupe RV uniquement, il est possible d'analyser les résultats différemment. En effet, ce groupe RV a été lui-même divisé en 2, selon les résultats obtenus après le questionnaire : un sous-groupe satisfait de l'expérience de RV et l'autre non satisfait. Concernant le sous-groupe « insatisfait » les scores CAS étaient significativement plus élevés que pour les « satisfaits » pendant et après intervention. En étudiant les variations des scores CAS

entre le début de l'intervention et la fin, il a été observé chez les patients « satisfaits », une diminution significative de ces scores au fil de l'intervention. Les patients « insatisfaits » avaient une augmentation significative de la douleur ressentie au début de l'intervention. Ces scores n'ont pas diminué de manière significative après l'intervention.

La réalité virtuelle non immersive n'a pas apporté de niveau de preuve suffisant pour la considérer comme efficace lors d'une prise de sang chez des patients en oncologie pédiatrique. Cependant, l'étude révèle que lorsque les patients étaient satisfaits de l'expérience de réalité virtuelle et de son niveau d'immersion, ils ressentaient significativement moins de douleur (45).

Il est donc important que la réalité virtuelle, lorsqu'elle est utilisée à des fins antalgiques, soit la plus immersive possible. Pour cela, elle doit isoler le patient du monde extérieur en occupant le plus possible son champ de vision et en mobilisant le maximum de canaux sensoriels (vue, toucher, ouïe). Un catalogue software riche et varié permettra d'exposer plus facilement les patients à des situations qui leur correspondent mieux, rendant l'expérience plus efficace car plus personnelle (par exemple : un fan d'animaux marins préférera sûrement un environnement virtuel marin, de même un fan d'astronomie sera plus attiré par un univers spatial) (54).

2.1.6.3 L'importance du matériel

Le degré d'immersion semble donc influencer sur la diminution de l'intensité de la douleur ressentie. En 2004, Hoffman *et al.* comparent ce qu'ils appellent un système RV « High Tech » à un système « Low Tech ». Le premier présente une sortie son, une vision panoramique, un écran de bonne qualité, il permet au patient d'interagir avec le milieu virtuel, reproduit à l'image de manière réaliste les mouvements de la tête ; tandis que le système « Low Tech » dispose d'un simple écran monté sur casque, sans sortie son et ne permettant pas d'interaction avec le milieu virtuel. Cette étude réalisée sur 39 volontaires âgés entre 18 et 20 ans révèle qu'une réalité virtuelle de meilleure qualité (hardware et software) est plus immersive et requiert une plus grande attention du patient. L'étude révèle qu'une utilisation de RV de bonne qualité permet une diminution de la sensation douloureuse significativement plus importante comparée à l'utilisation d'une RV de mauvaise qualité (47). L'étude présente des limites : des groupes mal répartis avec 14 hommes pour 25 femmes et une seule et même tranche d'âge ne rendant pas l'échantillon reproductible à l'ensemble de la population. Par ailleurs, le stimulus douloureux provoqué chez les sujets de l'étude est une impulsion très vive et courte, non caractéristique d'une douleur chronique ou d'un soin douloureux. Cependant l'étude met en évidence le lien suivant : meilleure est la qualité du matériel RV, meilleur est l'immersion. Et en augmentant l'immersion, la sensation de douleur semble diminuer (47).

Le matériel doit être adapté en fonction de son utilisation, par exemple la dentisterie nécessite un casque léger, de faible volume et permettant de désactiver l'option 360° afin de ne pas perturber le soin et le geste du dentiste (55).

2.1.6.4 *L'importance du logiciel*

En 2017, une équipe a étudié l'impact du contenu diffusé en réalité virtuelle sur la douleur ressentie ainsi que sur le souvenir laissé par celle-ci, une semaine après l'expérience. Dans un premier temps, en laboratoire, sur des patients à qui on a provoqué une stimulation nociceptive au froid, ont été comparées la RV active (le patient se déplace dans l'environnement RV grâce à un joystick, c'est-à-dire une manette de commande pour jeux vidéo) avec la RV passive (le paysage défile indépendamment du patient). Cette étude a montré que la RV est légèrement plus efficace lorsqu'elle est vécue de manière active, mais avec une différence non significative. Par la suite, l'étude a comparé sur des patients mis en conditions réelles de cabinet dentaire, un paysage urbain (une rue, avec des bâtiments) à un paysage naturel représentant un bord de mer (56). Il ressort de cette étude un bénéfice non négligeable à utiliser un paysage naturel plutôt qu'un paysage urbain, lors d'expériences RV à visée analgésique ; l'immersion dans un paysage naturel semble plus utile lorsque les patients se retrouvent dans un environnement plus anxiogène et inconsciemment non assimilé à la relaxation. De plus, une semaine après l'expérience, il a été demandé aux patients de noter dans un questionnaire leurs souvenirs de la douleur ressentie pendant l'expérimentation. Ceux ayant bénéficié du paysage côtier gardent un bien meilleur souvenir de l'expérience. Cependant, les auteurs de l'étude sont conscients du manque de puissance de leur étude, n'ayant pas réussi à atteindre la taille d'échantillon idéalement calculée (56). Concernant l'intérêt de la RV en tant qu'alternative antalgique, les auteurs émettent des réserves. Selon eux, ce genre de technologie n'aurait pas un grand intérêt en chirurgie dentaire, la dentisterie actuelle n'étant plus « assez douloureuse » pour voir un effet antalgique supplémentaire, contrairement à leur utilisation pour les patients brûlés (48,50). Ils encouragent à poursuivre les études portant sur le contenu RV et soulignent néanmoins l'intérêt qu'il y aurait à combiner la RV aux analgésiques traditionnels (56).

La revue de littérature publiée en 2017, par Arane *et al.* résume ces notions (57).

Il est maintenant possible de créer une variété d'expériences virtuelles impliquant la détection de mouvement, des images stéréoscopiques, des retours sonores et haptiques en utilisant des technologies de réalité virtuelle. Ces technologies commencent à faire leur preuve et les études

tendent à confirmer l'intérêt pour le domaine médical à utiliser la technologie RV en tant que méthode non-pharmacologique de modulation de la douleur. Cependant, les différentes études évaluant leurs utilisations ont un niveau de preuve faible (57).

2.2 Réalité virtuelle et anxiété

Le cabinet dentaire est source d'anxiété. Afin de lutter contre l'anxiété, il est impératif de savoir identifier les facteurs anxiogènes à la base de la « peur du dentiste ». Si la douleur (ou la peur de la douleur) est le principal facteur de stress au cabinet, on peut également citer la peur de l'anesthésie, du sang, du bruit, des instruments, de sensations d'inconfort (digue, difficulté à déglutir, impression d'étouffement, etc). Instaurer un climat de confiance au cabinet, être à l'écoute des craintes des patients et savoir y apporter des réponses peut permettre de diminuer l'anxiété dentaire (58).

Anxiété, angoisse, peur, phobie, sont des mots que l'on entend régulièrement dans notre profession. Il est nécessaire de commencer par les définir, pour pouvoir ensuite se pencher sur les éventuels apports de la réalité virtuelle dans l'atténuation, voire la suppression de ces manifestations.

2.2.1 Quelques définitions

Dans une revue de littérature australienne concernant la gestion de la peur et de l'anxiété au cabinet dentaire, publiée en 2013, Armfield *et al.* définissent des termes comme la peur, l'anxiété ou encore la phobie dentaire (59). Selon eux, peur et anxiété sont très proches mais il existe des différences conceptuelles :

- L'anxiété : « un état émotionnel qui précède une rencontre avec un objet ou une situation redouté ».
- La peur : fait référence à la « réponse réelle, à l'objet ou à la situation »

Une personne peut avoir une réaction de peur face à une situation ou quelque chose qui est pour elle source d'anxiété. Peur et anxiété « peuvent impliquer des composantes psychologiques, cognitives, émotionnelles et comportementales ». Cependant, la façon dont elles s'expriment peut varier d'une personne à l'autre.

- La phobie : est définie « comme un trouble mental comprenant une peur marquée ou responsable de comportements d'évitement envers un objet ou lors d'une situation spécifique. Ce trouble phobique interfère de manière significative avec le fonctionnement

de la personne ou provoque chez elle une détresse émotionnelle considérable ». En psychanalyse, on préférera le terme d'« hystérie d'angoisse » qui conduira à des stratagèmes d'évitement de l'objet phobogène (58). Bien souvent les sujets ont conscience de l'irrationalité de leur phobie (59).

- Avant de pouvoir traiter ces douleurs, il est nécessaire de savoir identifier les causes de la peur, l'anxiété ou la phobie d'un patient. La peur d'étouffer, la peur de l'injection ou encore la vue du sang peuvent toutes être source d'anxiété dentaire. Souvent, il est admis que la principale cause d'anxiété dentaire est une mauvaise expérience dans le passé mais d'après les auteurs, la façon dont le patient voit le cabinet est plus déterminant encore. Enfin, l'évitement des soins dentaires pourrait également être dû à d'autres conditions comme la « peur de l'évaluation sociale (comme dans la phobie sociale), la peur des germes (comme dans le trouble obsessionnel compulsif) ou la peur de s'éloigner de la sécurité du domicile (comme dans le trouble panique avec ou sans agoraphobie) ».

Dans cette revue, Armfield *et al.* définissent 4 typologies de patients anxieux en rapport aux soins dentaires qui diffèrent à la fois par leur présentation clinique et par leurs approches thérapeutiques (59) :

- Les individus qui ont peur de stimuli spécifiques. Ils peuvent facilement identifier les aspects de la dentisterie qu'ils trouvent le plus aversif. Pour traiter ce type de peur, la « désensibilisation » peut être envisagée : cela consiste à exposer progressivement l'individu aux stimuli redoutés, encourageant le patient à utiliser des stratégies de relaxation tout au long de la prise en charge pour gérer son niveau d'anxiété. En théorie, une fois qu'un patient de cette catégorie a un certain nombre d'expériences positives avec les stimuli redoutés, la peur s'éteint avec le temps.
- Les personnes qui craignent une catastrophe médicale. Ils craignent que quelque chose se produise pendant le traitement, responsable d'une urgence médicale (comme une crise cardiaque par exemple). Ce sont parfois des patients qui se déclareront comme « allergiques aux anesthésiques locaux », en particulier ceux contenant des vasoconstricteurs comme l'épinéphrine. Ils peuvent également signaler qu'ils craignent de ne pas pouvoir respirer avec la digue en place, ou encore de s'étouffer si trop d'instruments sont placés dans leur bouche. Pour éviter ces situations, un bon questionnaire médical est nécessaire en amont des soins dentaires.

- Les patients souffrant d'anxiété dentaire généralisée. Ils éprouvent une anxiété importante en prévision d'un traitement dentaire et ne sont généralement pas en mesure d'identifier le ou les aspect(s) du traitement dentaire qui leur est difficile. Pour eux, tout au cabinet dentaire sera jugé comme difficile. Les patients souffrant d'anxiété dentaire généralisée rapporteront souvent des difficultés à dormir la nuit avant un rendez-vous et à se sentir épuisés physiquement et/ou émotionnellement après le traitement. Ce type d'anxiété peut s'accompagner d'autres troubles anxieux comme l'agoraphobie ou les phobies sociales. Ce sont des patients qu'il faut rassurer avant, pendant et après le soin (pour préparer une future séance).
- Les patients qui se méfient du personnel dentaire. Ils peuvent apparaître comme méfiants vis-à-vis des motivations des praticiens dentaires. Ils ne se présentent pas forcément comme craintifs, mais ils redoutent une perte de contrôle ou souffrent d'un manque d'estime d'eux-mêmes. Cette appréhension de s'en remettre aux mains des dentistes les poussent parfois à créer une relation conflictuelle pour reprendre le contrôle de la situation. Ils ont également peur de ne pas contrôler leur traitement. Ce sont des patients à qui il faut pouvoir décrire les différentes procédures en détails, pour obtenir leur adhésion et à qui il ne faut pas hésiter à proposer de demander un deuxième avis, afin de toujours leur laisser la sensation de maîtriser la situation.

En étudiant ces différentes typologies, il est évident que l'anxiété n'est pas toujours en lien avec la douleur. L'évitement, l'anticipation anxieuse ou la détresse dans la situation redoutée interfère de manière significative avec le quotidien normal de la personne, avec son fonctionnement professionnel, avec ses activités et ses rapports sociaux. Il est donc important pour les praticiens de s'intéresser aux facteurs d'anxiété de nos patients et aux solutions actuelles pour diminuer ces états de peur vis-à-vis des soins dentaires (59).

La réalité virtuelle peut-elle faire partie de ces solutions ?

2.2.2 La réalité virtuelle pour traiter l'anxiété et la phobie dentaire

Les patients phobiques ont tendance à avoir une moins bonne hygiène bucco-dentaire, plus de caries ou de dents manquantes (60). La difficulté à trouver une prise en charge adaptée à leurs blocages psychologiques entraîne une errance médicale, une carence de soins et une associalisation,

sans compter les douleurs récurrentes que ces patients supportent plutôt que d'aller consulter (61). Au vu des récentes avancées technologiques concernant la réalité virtuelle, des études ont été réalisées pour voir si cette technologie apporte une diminution de l'anxiété.

En 2003, Hoffman *et al.* testaient la réalité virtuelle couplée à un retour tactile dans le traitement de l'arachnophobie (62). Trente-six patients (âge moyen : 18,6 ans) ont été étudiés, dont 8 seulement jugés réellement phobiques selon le *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (63), les 28 autres ont « une peur des araignées » depuis au moins 12 ans. Malgré le faible échantillon de patients réellement phobiques et le fait que cet échantillon ne puisse pas être représentatif de la population générale (jeunes patients et 80% de femmes), une diminution significative de la phobie des araignées a été observée chez ces patients. Ils étaient capables, après 3 séances de 1h (où la RV les mettait en contact avec des araignées virtuelles), de s'approcher beaucoup plus près d'une araignée qu'auparavant. La réalité virtuelle seule produisait déjà des résultats significatifs mais ceux-ci ont été améliorés lorsqu'un retour de sensation tactile est ajouté. Les résultats sont comparables à des traitements d'exposition *in vivo* à la phobie, néanmoins la méthode RV semble plus simple à reproduire, plus modulable et moins coûteuse dans le traitement de certaines phobies comme la peur du vide par exemple (62).

Plus récemment, en 2020, une équipe finnoise a publié une étude utilisant ce qu'ils appellent la Virtual Reality Relaxation (VRR) avant un traitement dentaire. Ils se basent sur les résultats de l'étude de Ganry *et al.* publiée en 2018 qui utilisaient la VRR avant des interventions de chirurgie plastiques maxillo-faciales (64). Deux groupes ont été créés : certains des participants à l'un des deux groupes ont bénéficié d'une séance de réalité virtuelle relaxante de 5min avant le soin, alors que les autres attendaient en salle d'attente de manière classique (65). Le groupe VRR devait choisir parmi 5 sortes d'environnements virtuels (une balade sur la plage, des cascades, la découverte du monde sous-marin, une virée en canoë ou dans l'espace), les images étaient complétées par un système audio pour une meilleure immersion. L'état d'anxiété et d'appréhension a été évalué avant et après traitement au moyen d'un questionnaire validé MDAS (Modified Dental Anxiety Scale). Quel que soit le niveau d'anxiété des patients avant le traitement, les résultats révèlent une nette diminution de l'anxiété et de l'appréhension des soins à venir pour le groupe ayant réalisé la séance de VRR avant traitement. Le genre, l'âge ou le type de soins réalisés ne semblent pas influencer sur ces résultats. L'échantillon est représentatif de la population générale, mais l'équipe réalisant l'étude est consciente des biais, notamment de la possibilité de passer à côté de patients très anxieux voire phobiques, évitant le soin ou arrivant au dernier moment (rendant impossible l'utilisation de VRR). Il ressort de cette étude que l'utilisation de la réalité virtuelle avant un soin dentaire, même de faible durée, entraîne une réduction de l'anxiété ou de l'appréhension ressentie. Les chercheurs encouragent la réalisation d'études

supplémentaires analysant en parallèle le choix des vidéos utilisées lors de la VRR et leurs impacts. Ils considèrent la réalité virtuelle comme un outil de relaxation préopératoire supplémentaire, non comme une solution de remplacement. A l'inverse de l'hypnose, ce moyen est moins coûteux, facilement réutilisable, et nécessite un degré de formation moindre. Pour les patients réellement phobiques, ils recommandent, en plus, un suivi psychologique (65).

2.3 Réalité virtuelle et hypnose

Que ce soit pour perdre du poids, arrêter de fumer, lors d'un accouchement, pour soigner le stress ou une phobie, l'hypnose est actuellement un moyen de plus en plus utilisé par l'ensemble de la population. Il n'est alors pas étonnant de voir l'hypnose faire actuellement partie intégrante de l'odontologie ou même de la médecine en général. De nombreuses formations à l'hypnose au cabinet dentaire existent, permettant à de nombreux praticiens de réaliser des hypnoanalgésies ou hypnosédations en médecine buccodentaire (66). L'hypnose au cabinet dentaire est toutefois difficile à mettre en place (personnel formé nécessaire, coût de formation, durée de la consultation allongée). Par son aspect immersif, la RV dispose de caractéristiques communes avec l'hypnose. Aussi, il est intéressant de se demander si réalité virtuelle et hypnose peuvent être combinées.

HypnoVR®, logiciel créé en 2017 et lauréat du prix de l'innovation de l'ADF 2018, utilise la réalité virtuelle pour induire et maintenir un état hypnotique chez les utilisateurs. Cette innovation propose ses services pour la chirurgie dentaire mais également pour la chirurgie pédiatrique, l'endoscopie digestive ou la procréation médicalement assistée. En créant des logiciels permettant l'induction hypnotique grâce à des casques RV, HypnoVR propose une solution nouvelle, non médicamenteuse et accessible au plus grand nombre. Cette entreprise affiche des résultats tels qu'une diminution de la durée de séjour postopératoire, une consommation de morphiniques et d'anxiolytiques également diminuée, moins de douleurs opératoires, enfin une diminution de l'anxiété en chirurgie dentaire (67).

HypnoVR propose de plonger les patients en état d'hypnose grâce à une expérience multisensorielle adaptée selon les patients et l'acte thérapeutique, avec plusieurs possibilités de choix tels que : des images de paysages naturels (forêts, plages, voyage astrale) en accord avec Ganry *et al.* (64) ou Karin (56) déjà cités ; le choix de textes hypnotiques adaptés à chaque indication thérapeutique avec choix de voix masculine ou féminine ; enfin le choix de la musique, concept inspiré de la musicothérapie. L'expérience peut se faire en amont du soin (salle d'attente notamment) afin de

diminuer l'appréhension au soin et l'anxiété (64) et pendant le soin (l'objectif est ici plutôt l'obtention d'une analgésie). Son utilité en postopératoire (de chirurgie de scoliose chez l'enfant) a également été étudiée à Strasbourg. Les résultats publiés en 2018, montrent des différences significatives entre le groupe témoin bénéficiant de la gestion habituelle de la douleur postopératoire et le groupe bénéficiant en plus de l'hypnose par réalité virtuelle (groupe VRH). Le groupe VRH était constitué de patients réalisant durant les 72 premières heures postopératoires des séances quotidiennes de 20min d'hypnose par réalité virtuelle quotidienne. Ce groupe avait significativement une consommation plus faible en traitement pour l'anxiété ou en opioïdes postopératoires, ainsi qu'une moindre incidence des vomissements, une diminution du temps nécessaire pour retirer le cathéter urinaire ou encore une diminution du temps nécessaire pour se lever (68). Il n'y aurait, en revanche, pas de différence significative sur la durée d'hospitalisation. Malgré un échantillon faible, les résultats obtenus sont plutôt encourageants en vue d'un meilleur suivi postopératoire des patients (68).

2.4 Exemples d'utilisation de réalité virtuelle pour la pédiatrie

2.4.1 Réalité virtuelle lors de procédures douloureuses

En 2017, une étude brésilienne s'intéresse aux effets de la distraction audiovisuelle sur des patients enfants à qui l'on réalise des procédures douloureuses, telles que des ponctions artérielles ou veineuses. La différence avec les autres études détaillées plus haut est que celle-ci est une étude en cross-over, les patients étant leur propre témoin (69). L'avantage de ce plan d'expérience est d'assurer une forte comparabilité des groupes contrôle et traité, étant donné que ce sont les mêmes patients que l'on retrouve dans ces deux groupes. Dans une étude sur la douleur aiguë, où la perception est très subjective, la conception d'une étude croisée permet de mieux comprendre les effets de la distraction sur la douleur en supprimant la variabilité inter-patients. La distraction audiovisuelle apparaît comme une intervention non pharmacologique puissante et efficace pour soulager la douleur chez les patients hospitalisés en pédiatrie. Les auteurs recommandent d'appliquer leur protocole à d'autres secteurs médicaux : par exemple l'odontologie pédiatrique (69).

2.4.2 Pédopsychiatrie

La réalité virtuelle apparaît comme une technologie prometteuse tant dans ses applications d'évaluation que dans la prise en charge thérapeutique en psychiatrie. Les outils de réalité virtuelle permettent de combiner plusieurs atouts : un aspect ludique de la tâche, un engagement du sujet, une standardisation par l'immersion du sujet dans un environnement « contrôlé ». Bioulac *et al.* publient, en 2018, une revue de littérature faisant état de l'utilisation de la réalité virtuelle en pédopsychiatrie (70).

L'étude révèle que pour la psychiatrie des enfants ou adolescents, que ce soit pour des troubles alimentaires (obésité, anorexie, boulimie) ou anxieux (phobies spécifiques, phobie sociale et scolaire), l'utilité principale de la réalité virtuelle réside dans la possibilité d'exposer les sujets de manière contrôlée à des situations anxiogènes. L'objectif étant de permettre une meilleure gestion du stress grâce à l'habituation (diminution des réponses d'un individu à un stimulus lorsque celui-ci lui est présenté de façon permanente sans renforcement). Pour les troubles alimentaires, en parallèle des soins sous RV, un travail sur l'image corporelle est cependant recommandé par les auteurs (70).

La RV présente également un intérêt pour traiter les troubles du spectre de l'autisme (TSA). En effet, cette technologie permet un apprentissage en reproduisant des situations de la vie quotidienne ou des interactions sociales comme reconnaître des panneaux de signalisation pour traverser une route ou réaliser des courses au supermarché. Elle peut aussi servir à la reconnaissance des émotions. Enfin, la RV présente également selon les auteurs, un intérêt pour évaluer l'attention, le trouble du déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH) ou encore l'impulsivité, en milieu scolaire (70).

Si les premières études sont très encourageantes en termes d'évaluation ou d'efficacité dans la prise en charge, les auteurs encouragent la réalisation de nouvelles études afin de renforcer la standardisation des méthodes et pour pouvoir établir un réel bénéfice apporté à la vie quotidienne de ces patients (70).

3 La réalité virtuelle peut-elle trouver sa place en odontologie pédiatrique ?

3.1 Quelques utilisations de la réalité virtuelle en odontologie

3.1.1 Chirurgie

La chirurgie (en particulier l'implantologie) est une discipline de l'odontologie où la RV a pourrait apporter la preuve d'une efficacité à travers différentes études. Ces applications concernent pour le moment surtout l'apprentissage du geste.

La RV peut être utilisée avant un soin, afin de gérer un éventuel stress des patients et leurs appréhensions. L'équipe de *Ganry (2018)* émet l'hypothèse que l'utilisation de la réalité virtuelle présentant des environnements naturels avant une chirurgie maxillofaciale réduirait de manière significative l'anxiété préopératoire des patients. Réalisée à l'hôpital Henri Mondor, cette étude utilise 3 tests : un test psychologique (échelle d'anxiété), un test biologique (taux de cortisol salivaire, marqueur biologique de stress) et un test physiologique (rythme cardiaque), avant et après la RV. Ces tests ont pour but de comparer le degré de stress ressenti par des patients utilisant la RV avant une chirurgie maxillofaciale (ablation d'une tumeur cutanée). Les résultats montrent l'efficacité de la réalité virtuelle pour réduire significativement l'appréhension des patients concernant l'opération : le marqueur psychologique révèle un score sur l'échelle d'anxiété diminué de manière significative après une séance de cinq minutes de RV ; biologiquement, le taux de cortisol salivaire a lui aussi diminué significativement. On ne remarque cependant pas d'influence sur le rythme cardiaque. L'étude réalisée sur seulement 20 patients manque de puissance mais montre l'intérêt de la RV pour traiter l'anxiété des patients avant une intervention en chirurgie orale, et sa simplicité de mise en place. La réalité virtuelle est vue par les chercheurs de cette étude comme un moyen supplémentaire, non pharmacologique de répondre à une demande de la diminution de l'anxiété préopératoire (64).

3.1.2 Prothèse

L'utilisation des technologies de réalité virtuelle ou de réalité augmentée pour ce qui concerne la prothèse en odontologie est plutôt limitée probablement parce que les soins prothétiques sont peu anxiogènes pour les patients. Cependant, la réalité augmentée est utilisée pour améliorer la communication entre patient-dentiste-prothésiste lors de l'établissement des plans de traitements prothétiques pour lesquels les exigences esthétiques sont importantes. Il est d'usage de trouver les dents usées, cassées ou décolorées peu attrayantes, et beaucoup de personnes affectées optent pour une reconstruction dentaire esthétique utilisant des couronnes ou des facettes en céramique, par exemple. Toute modification des dents antérieures peut également avoir un effet majeur sur les expressions faciales d'une personne. Pour permettre aux patients de voir à quoi ressemblera leur nouveau sourire, il est de pratique courante de commencer par réaliser un moulage en plâtre de la dentition du patient, des chercheurs ont décidé d'aller plus loin en proposant le projet de « concept de miroir virtuel » à la dentisterie. Le prothésiste utilise ensuite de la cire pour insérer les dents manquantes et crée un modèle 3D que le patient peut essayer : le mock-up. C'est une procédure compliquée et chronophage (71).

Kapanu, logiciel suisse créée en 2015 et appartenant à Ivoclar Vivadent depuis juin 2017, prévoit qu'à l'avenir l'ensemble du processus de modélisation sera plus simple et plus rapide grâce au nouveau logiciel mis au point : le « Kapanu Augmented Reality Engine ». Il a été présenté en mars 2017 à l'International Dental Show (IDS) de Cologne, le plus grand salon mondial de la technologie dentaire (72,73). Il s'agit d'un logiciel permettant au patient de voir en quelques secondes le résultat final de la réhabilitation prothétique, rendu possible par la réalité augmentée. Une vidéo des dents du patient est enregistrée, sur laquelle un modèle virtuel du nouvel ensemble de dents est superposé. Même si le patient photographié tourne la tête ou parle, le projet prothétique reste visible superposé aux dents naturelles. De plus, les patients peuvent essayer autant d'alternatives qu'ils le souhaitent, ce qui n'est pas réalisable avec un modèle en cire. En quelques clics de souris, il est possible de régler la longueur, la largeur, la forme et la nuance des dents. A travers l'application, le patient peut de chez lui voir en temps réel l'impact de la réhabilitation prothétique sur son apparence et ses expressions faciales, puis de choisir la variante qui lui convient le mieux, tout en sollicitant plus facilement l'avis de son entourage. Le logiciel traite les données et affiche différentes options, qui ne sont toutefois pas encore adaptées à l'occlusion du patient. Pour se faire, il faut d'abord effectuer une numérisation 3D de la cavité buccale. Cette technologie peut donc très bien se combiner aux empreintes optiques et aux technologies de CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur). Ces empreintes optiques peuvent être directement faites au cabinet ou indirectement (par l'intermédiaire d'une empreinte

classique) au laboratoire. Le patient choisit ensuite la dentition adéquate grâce au logiciel Kapanu. Les données sont ensuite introduites dans le logiciel de modélisation 3D du prothésiste, traitées, puis envoyées pour la conception. « Faire participer [toujours plus activement et] dès le départ le patient à son plan de traitement évite toute déception » d'après Mörzinger, un des créateurs du logiciel Kapanu (71).

3.1.3 Parodontie

La parodontie est à ce jour une des disciplines de l'odontologie comportant le plus d'études testant l'utilisation de la RV.

3.1.3.1 *L'utilisation de la réalité virtuelle lors de soins parodontaux*

La parodontie est une discipline où l'on peut facilement imaginer une utilisation de la RV pour le contrôle de la douleur, comme le montre Hoffman *et al.* dans une étude datant de 2004 (74). Dans cette étude, malgré le très faible échantillon, la RV semble avoir une meilleure efficacité en ce qui concerne la perception de la douleur comparée à l'utilisation d'un simple film (distraction audiovisuelle) ou encore sans aucun moyen de contrôle de la douleur.

En effet dans cette étude, Hoffman *et al.* utilisent la conception intra-sujet ; on compare 2 patients bénéficiant chacun de traitements parodontaux non chirurgicaux (détartrage et surfaçages), et réalisés sous 3 conditions différentes : utilisation d'un casque de réalité virtuelle, utilisation d'un film projeté, et aucune distraction. Les patients inclus présentent tous deux une maladie parodontale et avaient une tendance à renoncer aux soins parodontaux non chirurgicaux pour éviter les douleurs. Une évaluation de l'état d'anxiété que peuvent procurer ces soins est réalisée en amont de l'expérience par l'intermédiaire d'un questionnaire (issu de l'échelle de Corah) donné aux deux participants. Un autre questionnaire évalue le désir d'évitement de ces soins. Bien que portant uniquement sur 2 patients, les résultats de l'étude montrent que lors de l'utilisation de la réalité virtuelle pour des soins de détartrage/surfaçage les patients présentent un degré d'immersion plus élevé, une diminution significative de la douleur sensorielle et affective et enfin, une diminution du temps passé à penser à la douleur par rapport aux mêmes soins sans réalité virtuelle (74).

Furman *et al.* (2009) ont comparé les soins de détartrages et surfaçages radiculaires (SRP pour scaling and root planning) sous différentes conditions de distraction : la RV, l'utilisation d'un film et des soins sans aucun moyen de détournement de l'attention. Cette étude inclut un échantillon plus

important : 38 patients (75). Les résultats sont similaires à l'étude de Hoffman. Mais contrairement à Hoffman, la distraction par utilisation d'un simple film montre une légère diminution de la douleur et du temps passé à penser à cette douleur, comparé à un soin sans distraction. Par contre, la RV montre que les soins sont significativement moins douloureux comparés aux soins effectués sans distraction ou avec un film (75).

Dans une étude, de Alshatrat *et al.*, impliquant 50 personnes cette fois-ci, la RV est comparée avec l'absence de RV, pour des traitements parodontaux non chirurgicaux. Les résultats montrent qu'avec la RV, les patients ont en moyenne une diminution de l'effet désagréable du soin, une diminution du temps passé à penser à la douleur, et que la RV permet également une diminution significative de la perception moyenne de la douleur mesurée avec une EVA (55).

Les résultats de ces 3 études convergent vers une diminution de la douleur, de sa perception, du temps passé à penser à cette douleur ou même de la sensation de gêne lors de soins parodontaux non chirurgicaux, tels que le détartrage ou le surfaçage. Bien que chacune de ces études présentent des limites (notamment les faibles échantillons), toutes semblent mettre en avant le fait que la distraction immersive de la réalité virtuelle pourrait être une méthode efficace de contrôle de la douleur pendant les soins dentaires non invasifs, tels que les détartrages et les surfaçages. Hoffman va même plus loin en estimant que la réalité virtuelle peut permettre de réduire l'évitement de ces soins peu invasifs mais douloureux (74).

3.1.3.2 *La réalité virtuelle face au MEOPA lors d'un surfaçage*

En 1961, la première utilisation des effets antalgiques et anxiolytiques d'une inhalation d'un mélange contenant 50 % d'oxygène et 50 % de protoxyde d'azote (mélange gazeux équimolaire aussi appelé MEOPA) en dehors du bloc opératoire a été décrite en Grande-Bretagne (Entonox®) pour l'analgésie obstétricale (76). Depuis, l'usage du MEOPA s'est étendu et aujourd'hui de nombreuses professions médicales dont l'odontologie l'utilisent.

Particulièrement utilisé en odontologie et plus précisément en odontologie pédiatrique, le MEOPA facilite les soins de patients difficiles à soigner (anxiété, douleur, handicap, etc). Une étude française, publiée en 2000, a permis d'en préciser les modalités d'administration, la sécurité et les limites (77). Une année plus tard, sont publiés dans la revue Lancet, des résultats de l'analyse de plus de 7 500 fiches d'utilisation du MEOPA montrant la très faible part d'enfants présentant des effets indésirables majeurs (0,33%). Ces résultats obtenus montrent que le MEOPA peut être utilisé de manière sûre pour la sédation consciente d'enfants (78). Les effets du MEOPA sont notamment : une

action anxiolytique, euphorisante (« gaz hilarant ») et un effet antalgique. L'état de conscience est modifié (sédation consciente), le sujet reste vigile, réagit avec l'environnement et peut dialoguer avec l'entourage ; les perceptions sensorielles sont modifiées. Sur certains aspects, le MEOPA a des effets comparables à la RV (anxiolyse, effet antalgique, possibilité de maintenir contact avec le patient). Son utilisation est cependant difficile à réaliser au cabinet (coût matériel, formation nécessaire, besoin d'assistants lors du soin, effets indésirables de nausée possible). La réalité virtuelle a apporté des preuves de réduction de douleur de certains patients et est assez facile à mettre en place, même au cabinet dentaire. Pourtant peu d'études ont, à ce jour, comparé l'efficacité de ces deux méthodes.

Bentsen *et al.*, en 2003, comparent l'utilisation de lunettes vidéo (RV avec faible immersion) au MEOPA lors de la réalisation d'un surfaçage chez 26 patients adultes atteints de parodontites chroniques (79). Le surfaçage a été réalisé en 2 séances et lors de chaque séance, 2 quadrants ont été soignés avec une méthode analgésique différente. Pour la première séance, un quadrant a été surfacé utilisant les lunettes et pour l'autre quadrant, le MEOPA. Lors de la seconde séance, chaque patient avait un quadrant soigné en utilisant les lunettes, l'autre quadrant sans distraction. En parallèle, la stimulation tactile douloureuse de la lèvre inférieure grâce à des filaments de Von Frey a été réalisée avant les soins (pour définir une taille de filament standard servant de contrôle pour chaque patient) et durant chaque intervention. Il a été demandé aux patients d'évaluer grâce à une échelle EVA l'intensité de la douleur ressentie et le niveau d'inconfort lors des surfaçages, ainsi que lors des stimulations tactiles de la lèvre. Résultats : l'utilisation de lunettes vidéo (RV) ou du gaz durant les surfaçages ne montrent pas de différence significative sur la douleur ou l'inconfort ressenti face à la situation contrôle (sans distraction). En revanche, il y a une diminution significative de la douleur ressentie par les stimulations tactiles avec la situation de contrôle. La RV, comme le MEOPA, semble avoir un potentiel analgésique, potentiellement en diminuant le seuil de la douleur, mais des études plus poussées sont nécessaires afin de comparer ces deux méthodes plus efficacement, avec une RV plus immersive (79).

Il n'y a pas d'études concernant un usage de réalité virtuelle en odontologie conservatrice ou endodontie. Cependant, comme pour la parodontie ou la chirurgie, des programmes de réalité virtuelle combinée à un retour haptique commencent à arriver sur le marché, notamment concernant l'apprentissage du geste. Les travaux du Dr. David Joseph, docteur de l'Université de Lorraine, montrent l'intérêt grandissant dans ce domaine (80). La réalité virtuelle permettant une expérience unique, reproductible et aussi riche qu'il existe de programmes.

3.2 La réalité virtuelle face à l'anesthésie en odontologie pédiatrique

Les interventions non pharmacologiques, notamment Tell Show Do (TSD), le contrôle vocal, l'hypnose, la distraction avec narration, l'audio et les aides audiovisuelles qui ciblent les aspects psychologiques de l'anxiété et de la douleur chez l'enfant n'ont pas d'effets secondaires. Elles peuvent permettre à l'enfant de mieux accepter le traitement dentaire en atténuant la peur et l'anxiété. Les parents préfèrent également les techniques non invasives plutôt que l'anesthésie générale, la sédation ou la contention (59,81).

L'administration d'une anesthésie locale est l'une des procédures qui entraîne une augmentation du niveau d'anxiété chez les patients (81).

3.2.1 La peur de l'aiguille

Les aiguilles (que ce soit pour les vaccins, les prises de sang ou les anesthésies) sont une des principales causes d'anxiété chez les patients.

En 2017, Silverberg *et al.* publient une étude réalisée sur 244 enfants en Californie. Cette étude avait pour but d'étudier l'éventuel effet analgésique de la RV lors d'une vaccination. Selon lui la peur de l'aiguille rendrait réticent de nombreux patients à se faire vacciner ; réduire cette peur de l'aiguille en détournant l'attention du patient pourrait être un moyen de vacciner plus de monde. Pour ce faire, deux groupes homogènes de 122 enfants ont été constitués. Le premier groupe, utilise la réalité virtuelle lors de la vaccination, le second (groupe de contrôle) est vacciné de manière classique, sans aucune distraction. Les résultats ont montré que le groupe RV avait ressenti 48% de douleur en moins que le groupe témoin, selon un questionnaire d'auto-évaluation. Les parents, interrogés sur leur perception concernant la douleur ressentie par l'enfant, révélaient que leur enfant ressentait entre 48 et 52% moins de peur lors de l'utilisation de la RV. Enfin selon l'équipe soignante, il y avait une diminution de l'ordre de 75% de la douleur et de 71% de la peur.

En 2018, Chad *et al.*, publient une étude portant également sur l'éventuel rôle de la RV dans la prise en charge des vaccinations de patients âgés entre 6 et 17 ans (82). L'échantillon a été cette fois limité à 17 patients. A l'aide du WBF, les meneurs de l'étude ont demandé aux patients d'évaluer la douleur qu'ils pensaient ressentir lors de la vaccination et à réitérer le processus une fois la vaccination réalisée. Les parents ont eu à réaliser le même exercice, noter la douleur que ressentirait leur enfant,

mais aussi la douleur perçue une fois la vaccination faite à l'aide du WBF. Il ressort de cette étude que dans 94,1% des cas, les enfants avaient une diminution significative de la douleur ressentie par rapport à celle anticipée. Les résultats du WBF réalisé par les parents concernant leurs enfants montraient des résultats similaires, une diminution significative de la douleur perçue par rapport à celle anticipée. Cependant, il est difficile d'interpréter les résultats de cette étude pour plusieurs raisons : la faible taille de l'échantillon, la RV réalisée avec un smartphone (l'immersion peut être limitée) et l'absence de groupe de contrôle (82).

3.2.2 La réalité virtuelle peut-elle limiter le nombre d'indication d'anesthésie générale ?

Une anesthésie générale est un acte non dénué de risques. Actuellement, la chirurgie des membres supérieurs comprend une combinaison d'anesthésie loco-régionale et de sédation au propofol (anesthésique général intraveineux de courte durée d'action). Généralement, les patients reçoivent une sédation de propofol au cours de ces chirurgies, entraînant des risques potentiellement évitables d'overdose (Michael Jackson en 2009 (83)), d'hypotension, d'obstruction des voies respiratoires supérieures et d'apnée.

Faruki *et al.*, en 2019, publient un protocole permettant d'étudier la capacité de la réalité virtuelle à réduire l'utilisation (ou les doses administrées) de propofol lors de chirurgies des membres supérieurs (84). Dans cet essai contrôlé randomisé monocentrique, 40 patients adultes subissant une chirurgie orthopédique des membres supérieurs seront répartis au hasard en deux groupes : immersion par RV ou prise en charge habituelle. Avant la chirurgie, les patients reçoivent tous une anesthésie loco-régionale du membre en question. Le groupe RV choisit la vidéo immersive qu'il souhaite voir dans le casque. À tout moment, un anesthésiste pourra administrer une injection de propofol s'il le juge nécessaire. Le critère d'évaluation principale de cette étude est la dose de propofol administrée lors de l'intervention en fonction des groupes. Les critères secondairement évalués sont les recours en matière d'analgésie postopératoire et les scores de douleur, la durée d'hospitalisation postopératoire, la satisfaction globale des patients et les résultats fonctionnels postopératoires. Des résultats positifs de la RV dans la diminution du recours à la sédation pourraient selon Faruk, conduire à un changement de pratique (84).

3.2.3 La réalité virtuelle lors de l'anesthésie avant une extraction dentaire

L'extraction et l'anesthésie dentaire sont les premières causes d'augmentation de l'anxiété des patients en odontologie. C'est ce qu'affirment Sweta *et al.* en 2019 dans leur étude. Ils ont comparé 2 groupes de 25 patients répartis de manière aléatoire, lors d'une anesthésie dentaire avant une extraction (85). Aucune information sur l'âge des patients n'est indiquée dans l'étude, mais il devait s'agir pour chaque patient de leur première consultation pour une extraction. Un groupe utilisant une distraction par RV a été comparé à un groupe témoin (n'utilisant aucune distraction). L'évaluation de la fréquence cardiaque, de la saturation en oxygène, ainsi que de l'intensité douloureuse a été effectuée avant, pendant et après l'intervention. Les résultats ont révélé que le groupe RV avait une diminution significative de la fréquence cardiaque pendant l'anesthésie, contrairement au groupe témoin. La saturation en oxygène était significativement plus basse en préopératoire et postopératoire pour le groupe RV par rapport au groupe témoin. Enfin, l'échelle EVA postopératoire a montré que les patients utilisant la RV lors de l'anesthésie décrivaient significativement moins de douleur que ceux ne l'utilisant pas ($p < 0,01$) (85).

Les résultats de l'étude incitent à l'utilisation de la RV afin de réduire l'inconfort lié à l'anesthésie dentaire. Acte particulièrement anxiogène, améliorer les conditions de sa réalisation pourrait avoir un impact bénéfique, notamment sur la composante émotionnelle de la douleur.

3.2.4 L'anesthésie en odontologie pédiatrique

3.2.4.1 *Distraction et anesthésie locale en odontologie pédiatrique*

En 2016, Abdelmoniem et Mahmoud ont comparé 3 techniques de distraction durant l'anesthésie dentaire chez des enfants (22) : la distraction passive (musique), la distraction active (lever alternativement une jambe après l'autre selon les indications de l'opérateur) et la distraction passive-active (combinaison des 2). Pour cela, 90 enfants âgés de 4 à 9 ans ont été répartis dans l'un des 3 groupes. Les outils d'évaluation de la douleur choisis pour cette étude ont été l'échelle WBF (évaluation subjective) et le tableau SEM (évaluation par le praticien, théoriquement objective). Les résultats ont montré un niveau de douleur moindre avec la distraction passive-active, mais bien que les résultats obtenus par les deux différents outils concordent, les différences observées sont non significatives. Malgré tout, les patients ayant participé activement à leur distraction (passive-active et active) ont décrit de manière significative l'expérience comme beaucoup moins désagréable (22).

Inclure le patient activement à sa distraction peut donc atténuer l'effet désagréable d'une anesthésie dentaire, et il serait intéressant de voir une étude similaire avec un moyen de distraction plus immersif comme peut l'être la RV.

3.2.4.2 *Réalité virtuelle face à la contre-stimulation*

En 1965, Melzack et Wall publient un article (86) où ils décrivent la théorie du gate control. L'article explique clairement le principe de la « distraction neuronale » par la stimulation des fibres nerveuses de type A et de type B – fibres de plus grand diamètre et transportant des informations sensorielles (tactiles et proprioceptives). En sollicitant ces fibres nerveuses de gros diamètre, par une pression ou des vibrations, une porte neurale se ferme aux signaux nociceptifs et la perception de la douleur diminue. Se basant sur cette théorie, de nombreuses études procèdent à des stimulations pour provoquer une douleur, à laquelle on oppose une contre-stimulation (action dont le rôle est d'atténuer un excès de stimulation), le plus souvent par pression tactile (87–89).

C'est notamment le cas de l'article d'Aminabadi *et al.* publié en 2008, qui a montré l'intérêt de la distraction et de la contre-stimulation (séparément ou combinées) pour diminuer la perception de la douleur ressentie à l'anesthésie intrabuccale chez un échantillon de 78 enfants âgés de 4 à 5 ans (87). Pour se faire, 3 groupes homogènes de 26 enfants ont été constitués, chacun recevant une anesthésie du nerf alvéolaire inférieur selon les mêmes conditions : le groupe SA reçoit uniquement une anesthésie, le groupe C+SA reçoit une anesthésie en même temps qu'une contre-stimulation et enfin le groupe CD+SA reçoit une anesthésie, une contre-stimulation et doit réaliser un exercice de distraction. Ici la contre-stimulation consiste en une pression intraorale du pouce avec massage près du point d'injection et extraorale avec l'index en regard du point d'injection. Pour la distraction, il est demandé aux patients de lever tour à tour la jambe droite et la gauche. Un autre dentiste est chargé de noter les réactions des patients grâce à l'échelle SEM. Les résultats ont révélé une diminution significative de la douleur ressentie pour les groupes C+SA et CD+SA, comparés au groupe témoin SA. La contre-stimulation est un bon moyen de détourner l'attention des enfants du stimulus douloureux réalisé par la pique de l'aiguille, confirmant la théorie du gate control. Les résultats montrent également une différence significative entre les groupes C+SA et CD+SA : les patients qui ont été distraits en plus de la contre-stimulation montrent moins de manifestations douloureuses, selon l'échelle SEM. Ces résultats montrent donc l'intérêt de la distraction pour diminuer la douleur ressentie par l'anesthésie intrabuccale des enfants âgés entre 4 et 5 ans. La distraction peut, d'après l'étude, potentialiser l'effet gate control. Cependant, on peut discuter du choix de ce marqueur SEM, n'ayant pas fait objet d'études.

En 2019, Vafaei *et al.* montrent l'absence de différence significative des comportements de réaction à la douleur (marqueur SEM) chez des enfants à qui était fait une anesthésie locale dentaire, que ce soit avec un complément d'une anesthésie de surface (benzocaïne) ou avec une contre-stimulation tactile près du site d'injection, exercée par le miroir buccal (88).

Se basant sur l'étude d'Aminabadi *et al.*, 11 ans plus tard, Nunna *et al.* ont comparé les effets de la réalité virtuelle et de la contre-stimulation sur l'anxiété et la perception de la douleur chez l'enfant. Pour ce faire, ils ont réalisé un essai clinique randomisé en simple aveugle. Comme pour l'étude d'Aminabadi, la contre-stimulation (CS) consiste ici en une pression simultanée du pouce sur la muqueuse adjacente au site d'injection et d'une pression extra-orale avec l'index. L'échantillon nécessaire à l'étude a été estimé à soixante-dix enfants, de 7 à 11 ans, nécessitant une anesthésie locale (AL) pour une pulpotomie sur une première molaire temporaire mandibulaire ou une extraction dentaire. Ces derniers ont été recrutés et répartis selon deux groupes égaux. Le groupe CS (n = 35) a reçu la contre-stimulation et le groupe RV (n = 35) a reçu la distraction par réalité virtuelle avec des lunettes ANTVR. Il n'y a pas eu de différence significative dans la répartition des groupes que ce soit en termes d'âge, de sexe et de traitements effectués. Les niveaux d'anxiété sont évalués avant, pendant et après l'administration de l'anesthésie locale, au moyen d'une prise de pouls. La perception de la douleur est évaluée immédiatement après l'injection. Pour ce faire, ont été utilisées l'échelle des visages de Wong-Baker (WBF), une échelle visuelle analogique (EVA) (tous deux marqueurs subjectifs) ; et une échelle d'évaluation de l'anxiété clinique (VCARS) de Venham (marqueur objectif) (89). Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les groupes CS et RV pour ce qui est des marqueurs subjectifs (EVA et WBF), de même qu'il n'y a pas eu de différence significative établie par le marqueur objectif VCARS après l'intervention. Cependant, les résultats ont révélé une différence significative entre les deux groupes selon le VCARS avant l'intervention. Les marqueurs physiologiques montrent une différence significative entre les deux groupes pendant et après l'injection d'anesthésie locale. Le groupe RV présente une diminution significative du niveau d'anxiété mesuré par VCARS entre l'avant et l'après injection. Les deux groupes semblent montrer une diminution significative du pouls entre l'avant et l'après injection (89). Ce qui ressort de cette étude, c'est qu'en comparant pour la première fois ces deux moyens non-pharmacologiques de réduction de l'anxiété et de perception de la douleur, la réalité virtuelle présente un avantage comparé à une contre-stimulation. Ces résultats sont surtout visibles objectivement. Ceci confirme l'hypothèse de départ selon laquelle la réalité virtuelle serait un moyen de distraction plus efficace pour réduire l'anxiété et la perception de la douleur, ce qui est en accord avec l'étude d'Aminabadi *et al.* (63). Il est à noter que pour le groupe RV, la majorité des enfants exprimaient la volonté de maintenir le casque de RV, car il bloquait la vue et les sons des instruments dentaires (89).

Bien qu'étant la première étude comparative sur ces deux méthodes, les auteurs sont conscients des limites, notamment concernant la faible taille de l'échantillon. De plus, le système RV utilisé ici, n'est au final qu'un simple visionnage de dessins animés à travers un casque. Le casque et les écouteurs permettent toujours d'isoler le patient des bruits et visions alentours, mais on perd alors tout l'aspect immersif, or on a vu que la RV est bien plus efficace lorsqu'elle est active (56).

3.3 La réalité virtuelle lors des soins d'odontologie pédiatrique

3.3.1 Sullivan

Convaincu de l'intérêt de la réalité virtuelle pour détendre les adultes lors de soins dentaires, Sullivan et al. publient en 2000 une étude sur les effets de la RV sur des enfants âgés de 5 à 7 ans. Les 26 participants de l'étude sont répartis en 2 groupes égaux. Ils ont chacun eu 2 caries soignées. Les soins ont été réalisés en 2 rendez-vous et selon des conditions de distraction différentes. Dans le premier groupe une dent a été soignée sous RV lors du premier rendez-vous, alors que le second groupe a eu les mêmes soins mais sans RV. Pour le second rendez-vous, c'est le groupe 2 qui a pu bénéficier de la RV et non le groupe 1. Les outils choisis pour mesurer les réactions des patients sont : la réalisation par l'enfant d'un dessin de visage (subjectif), l'échelle d'évaluation du comportement de Frankl (objectif) et la mesure de la fréquence cardiaque. Les résultats ont montré une diminution de l'anxiété lorsque les patients utilisaient le casque de RV sans que ces différences soient significatives. L'échelle de comportement de Frankl ne montre aucune différence significative avec ou sans RV, pour soigner une carie chez un enfant. Cependant, les patients utilisant la RV avaient une fréquence cardiaque significativement plus faible que lorsqu'ils ne l'utilisaient pas (90).

3.3.2 Etudes croisées randomisées en simple aveugle

En 2018, une étude italienne portant sur l'utilisation de la RV pour des soins de routine en odontologie pédiatrique est publiée (91). Elle inclut 5 patients, d'une moyenne d'âge de 13,2 ans, recevant chacun des soins ou extractions dentaires selon deux conditions : avec ou sans RV. Le hardware est l'Oculus Rift, casque de haute résolution graphique. Le software est l'environnement SnowWorld (décrit par Hoffman), dans lequel les mouvements sont possibles grâce à une souris sans fil confiée au patient. La douleur ressentie lors des soins a été évaluée grâce à une échelle EVA (ou

équivalente), le temps passé à penser à la douleur, le degré de qualité de la RV, l'état nauséeux potentiellement induit par la RV et le niveau de « fun » de l'expérience ont été étudiés. Le dentiste procédant aux soins a également évalué les séances (la douleur ressentie selon lui par les patients) à l'aide d'une échelle EVA. Globalement, lorsque les patients utilisaient le casque RV, la douleur déclarée était significativement plus faible que lorsqu'ils étaient « sans RV ». De même, le temps passé à penser à la douleur était significativement plus faible avec la RV. La qualité de l'expérience a été jugée de très bonne qualité (moyenne de 7,4/10 sans différence significative des réponses selon les groupes). Les résultats concernant les nausées ont été jugés négligeables car extrêmement faibles (moyenne <1 sur une échelle de 0-10). Enfin, l'expérience RV est significativement plus agréable ou « fun » selon les patients. L'observation du dentiste montre une différence significative lors des soins des patients : la condition « avec RV » étant vécue par les patients, selon le dentiste, comme moins désagréable. L'étude présente certaines limites, notamment en ce qui concerne la taille faible d'échantillon, rendant difficilement applicables les résultats à la population générale. Malgré cet échantillon de faible taille, les résultats montrent une diminution significative de douleur, du temps passé à penser à la douleur, une augmentation significative du « fun » et cela sans effets indésirables notables tels que la nausée. Une étude similaire sur un plus grand échantillon pourrait être nécessaire afin de pouvoir extrapoler les résultats à l'ensemble de la population générale (91).

La même année Niharishka *et al.* ont rapporté l'effet potentiel de la RV lors de soins de biopulpotomie sur des enfants de 4 à 8 ans (92). C'est une étude croisée (chaque patient étant son propre témoin et recevant des soins avec et sans RV) en simple aveugle dans laquelle les 40 patients inclus sont répartis par randomisation en 2 groupes (un questionnaire SCARED a permis d'exclure des enfants présentant potentiellement des problèmes psychiatriques). Chaque patient a eu des molaires temporaires soignées et les soins se sont déroulés en 3 séances : 1 séance de consultation puis 2 séances de biopulpotomie, avec et sans RV. Le système de RV utilisé (Google VR Box and anti tank virtual reality 3D Glasses) bloque complètement le champ visuel et est équipé d'écouteurs. Il diffuse un dessin animé. Lors de la deuxième séance, c'est le groupe A qui a eu un soin avec le système de RV, le groupe B à l'inverse a utilisé la RV lors de la 3^{ème} séance. A la fin de chaque séance, la douleur a été mesurée par la WBF et l'anxiété par MCDAS. Les variations de la fréquence cardiaque et de saturation d'oxygène ont été mesurées toutes les 10min. Il ressort de cette étude qu'à chaque fois que les patients étaient sous RV, ils montraient significativement moins de douleurs (selon WBF) que lorsqu'ils étaient soignés sans RV. De même, l'anxiété (évalué par MCDAS) diminuait significativement lors de l'utilisation de la RV. L'ordre d'utilisation de la RV (en seconde ou troisième séance) ne semblait pas influencer sur les résultats. En revanche, il n'y a pas eu de différence significative concernant les fréquences cardiaques ou les oxymétries réalisées (92).

Une étude présentant un protocole similaire avait déjà été réalisée en 2012. En effet, Asl Aminabadi *et al.* ont réalisé une étude croisée randomisée en simple aveugle, également dans le but d'étudier l'effet de la réalité virtuelle (i-glasses 920HR) sur la douleur et l'anxiété ressenties lors de thérapies pulpaires de molaires temporaires (93). Dans cette étude, l'échantillon était de 120 enfants, âgés de 4 et 6 ans et regroupés en 2 groupes (non significativement différents, en termes de score SCARED, de genre, nombre, ou âge). L'étude a utilisé le questionnaire SCARED pour exclure les patients présentant des troubles de l'anxiété (ce qui peut constituer un élément critiquable de la méthodologie) et a utilisé des outils de mesure comme WBF (douleur) et MCDAS (anxiété). Ici aussi, chaque enfant a été son propre témoin, chaque groupe ayant reçu des soins avec et sans RV. Comme pour l'étude de Niharishka *et al.*, la RV a réduit significativement la douleur et l'anxiété ressenties par les patients lors des soins pulpaires de dents temporaires, en comparaison à la réalisation du soin sans cette méthode de distraction. Ces deux études ont obtenu des résultats similaires avec un protocole identique même si elles ont été réalisées sur des échantillons différents (taille et tranche d'âge différentes), ainsi qu'un système de RV différent.

Ces études montrent que l'utilisation de la distraction RV est efficace pour diminuer la perception de la douleur et le niveau d'anxiété chez les enfants lors d'un traitement dentaire de routine. Les auteurs attribuent les effets de la RV, essentiellement au blocage complet du champ de vision des enfants, les coupant des équipements dentaires et des détails de la procédure : principales causes de l'anxiété des enfants au cabinet dentaire selon eux.

3.3.3 La distraction par lunettes de réalité virtuelle afin de réduire l'anxiété des enfants de 6-10 ans lors d'une extraction dentaire

En 2019, une étude a utilisé la réalité virtuelle pour diminuer l'anxiété ressentie par un groupe de 30 enfants lors d'une extraction dentaire. Chacun des 30 patients s'est vu extraire deux molaires temporaires mandibulaires : une avec distraction par RV, l'autre sans distraction. Avant et après chaque séance, des mesures ont été prises grâce à différents marqueurs : des mesures subjectives avec le Venham Picture Test (succession de 8 images, le patient sélectionne l'image qui exprime le mieux son ressenti) et des mesures physiologiques (fréquence cardiaque et saturation d'oxygène). Les résultats obtenus sont contradictoires, les enfants ne se sentent pas significativement moins anxieux avec l'utilisation de la RV selon la mesure subjective (Venham), mais les marqueurs biologiques montrent l'inverse (notamment une diminution de la fréquence cardiaque significative après l'utilisation de la RV). Ces différences au niveau des résultats peuvent être expliquées par le choix de

système de RV utilisé (BlackBug Virtual Reality Glasses 3D VR Box) ; il est très volumineux, ce qui peut gêner le patient, être inconfortable et il ne permet pas d'isoler totalement le patient du milieu extérieur. Ce « défaut » peut rendre la RV moins immersive et par conséquent diminuer ses effets. De plus, le contenu diffusé est assez passif : ce sont des dessins animés projetés sur lunettes ; ce qui n'est pas en accord avec Tanja-Dijkstra qui privilégie les distractions actives (56). Les auteurs attribuent la plupart des bénéfices de la réalité virtuelle à son aspect immersif et au fait de bloquer toutes autres entrées visuelles (la vue du cabinet, matériel ou même praticien), facteurs qui tendraient à augmenter le niveau d'anxiété chez les patients (94).

3.3.4 Effets de la distraction par réalité virtuelle sur le cortisol salivaire

Le dosage du cortisol salivaire peut être un bon indicateur du taux de cortisol sécrété par les glandes surrénales, lui-même indicateur du degré d'anxiété. Récemment et pour la première fois, une équipe s'est intéressé à ce marqueur pour tenter d'apporter une preuve de l'intérêt de la réalité virtuelle en tant que distraction de la douleur et de l'anxiété, lors de soins dentaires prodigués à des enfants âgés de 5 à 8 ans (95).

Pour cette étude (Shetty *et al.*, 2019), 120 patients âgés entre 5 et 8 ans ont été inclus. Les auteurs de l'étude se sont assurés que ces patients présentaient tous un score SCARED inférieur à 25 afin d'éliminer les patients considérés comme phobiques. Tous consultaient pour le traitement d'une carie profonde sur une molaire temporaire mandibulaire par biopulpotomie. Le niveau d'anxiété de chacun a été mesuré et enregistré avant de commencer le soin aux moyens du questionnaire MCDAS. La douleur a été évaluée grâce à l'échelle Wong-Baker Faces (WBF). Deux groupes ont été constitués : le groupe témoin (groupe 1) où les patients ont bénéficié de techniques dites conventionnelles telles que Tell-Show-Do, la voix, et autres distractions conventionnelles. Les patients du groupe 2 ont bénéficié de la distraction par réalité virtuelle au moyen d'un casque (i-glasses 920HR) qui diffuse un dessin animé choisi par l'enfant parmi une sélection. Le groupe 2 a utilisé le casque durant les 5 minutes qui précèdent le soin, et pendant toute la durée du traitement ; il est retiré seulement une fois le soin terminé. Tous les soins ont été prodigués par le même praticien, spécialisé en odontologie pédiatrique, afin de minimiser un biais inter-opérateur. Le MCDAS a une nouvelle fois été utilisé en fin de traitement pour mesurer l'anxiété. Le cortisol salivaire a été prélevé chez les participants de chaque groupe grâce à un coton salivaire stérile, à 3 intervalles : 10 minutes avant le soin, 20 minutes après le début du soin, puis une fois le soin terminé.

Dans le groupe 2 (utilisant la RV) aucun score MCDAS relatif à l'anxiété n'a augmenté avec le soin. Chez 19,0% de ces enfants, une diminution de l'anxiété a été signalée, passant d'un score MCDAS de 19 à 31 (en prétraitement) à un score inférieur à 19 (post-traitement). Une comparaison de la distribution des scores d'anxiété a révélé leur diminution au cours du soin de manière significative, dans le groupe 2. Concernant l'évaluation de la douleur perçue, le WBF a révélé que 93,3% des enfants du groupe 1 indiquaient une douleur située entre 4 et 6. Pour le groupe 2, 98,2% font état d'une douleur ne dépassant pas un score de 4, dont 75,8 % ne dépassant pas 2. En comparant ces deux tendances avec un test du Chi², une différence significative a été observée entre les deux groupes (avec $p < 0,001$). La comparaison des taux moyens de cortisol salivaire (avant, pendant et après traitement), montre une diminution significative entre les deux groupes à chaque intervalle de temps. Il en est de même pour les variations du taux médian de cortisol salivaire (entre pré- et intra- traitement, intra- et post- traitement, et enfin entre pré- et post- traitement) (95).

Chez les enfants étudiés, avec la diminution significative de taux de cortisol salivaire, et en se basant sur les résultats des MCDAS et WBF, les auteurs concluent que la distraction par réalité virtuelle peut réduire la douleur et l'anxiété pendant un traitement dentaire invasif chez les enfants de 5 à 8 ans. La décision d'utiliser le cortisol salivaire comme marqueur de l'anxiété s'appuie sur les travaux de Blair *et al.* (33). Ces résultats ne concernent cependant que des enfants qui ont été sélectionnés selon un score SCARED peu élevé et qui n'avaient pas eu d'expériences négatives antérieures avec un dentiste. De plus, cette étude ne s'intéresse qu'à une seule tranche d'âge (les 5-8 ans), il serait nécessaire de la porter à d'autres groupes d'âges car ils présentent des caractéristiques cognitives et des schémas comportementaux différents. Pour finir, le fort potentiel de l'utilisation de la RV en odontologie pédiatrique est ici mis en évidence ; des études plus approfondies devraient être menées avec des patients présentant un niveau plus élevé d'anxiété (score SCARED > 25), patients qui sont le plus souvent ceux dont la gestion au cabinet est la plus difficile (95).

3.3.5 Exemple de protocole utilisant la réalité augmentée dans le processus d'apprentissage du brossage dentaire

Aujourd'hui, l'importance du jeu dans le processus d'apprentissage est plus qu'admise et la place grandissante des technologies dans la société pousse les chercheurs à innover dans des modèles d'apprentissages ludiques, modernes et interactifs. L'apprentissage du geste en matière de santé n'échappe pas à ces exigences. En ce début d'année 2020, une étude a mis en place un protocole visant à améliorer l'apprentissage des techniques de brossage dentaire chez les enfants de 6 à 10 ans,

grâce à la technologie de réalité augmentée (ici la Kinect de Microsoft)(96). Via le logiciel Microsoft SDK 2.0, il est possible de créer un jeu interactif et ludique diffusé sur PC ou XBOX. La RA n'est pas reproduite comme traditionnellement par à un casque, mais avec une caméra intégrant de nombreux capteurs. Les mouvements du sujet qui se trouve face à la caméra Kinect sont reproduits à l'écran puis intégrés aux images virtuelles projetées.

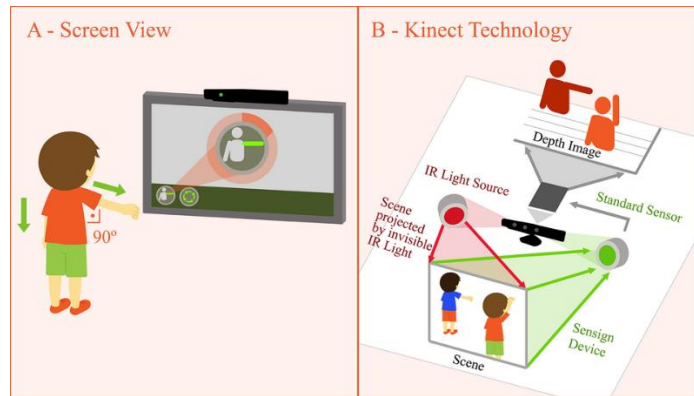


Figure 21 : Schéma représentant la projection virtuelle des mouvements réellement effectués par le sujet (96)

Les bénéfices du jeu dans le processus d'apprentissage sont prouvés (97,98) ; la RA va stimuler cet apprentissage en encourageant l'intérêt des enfants et en leur permettant de réaliser une expérience unique, interactive et reproductible. Il s'agit d'initier les enfants à différentes techniques de brossage (ici deux méthodes : Fones (circulaire) et Stillman (horizontale) —et d'utiliser la reproductibilité de la RA pour s'entraîner.

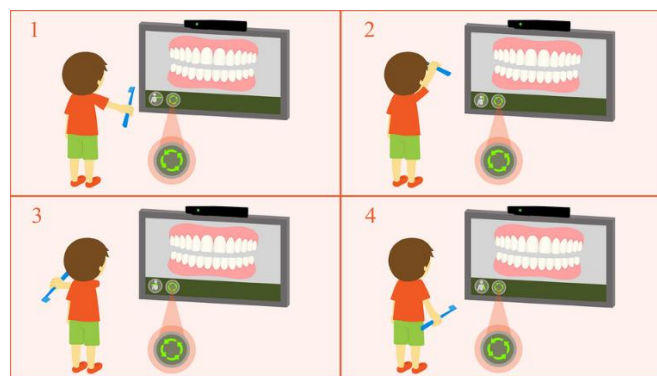


Figure 22 : Schéma des étapes d'apprentissage des gestes du brossage (96)

Comme dans tous jeux, l'enfant commence par choisir son personnage (garçon ou fille), puis il va choisir la technique de brossage et l'objectif de l'entraînement. A l'écran, une mâchoire virtuelle apparaît avec des résidus situés aléatoirement sur les dents. L'enfant doit enlever les résidus en

réalisant les mouvements spécifiques à la technique choisie. En fonction de la qualité du « brossage » un score lui sera attribué (96).

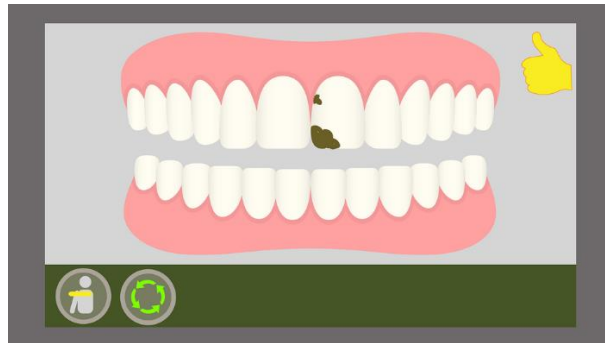


Figure 23 : Représentation d'une arcade dentaire, l'incisive centrale maxillaire gauche n'est pas encore parfaitement propre (96)

Il est prévu de réaliser des mises à jour en fonction des données acquises de la science. Un protocole est en cours d'élaboration, mais il n'y a pas encore de résultats publiés. Des améliorations, notamment sur le rendu visuel et sur l'interaction sont attendues, avant de pouvoir inclure des patients et d'évaluer l'efficacité du produit. Le but de ce protocole est de devenir un outil scientifique et de recherche sur différents niveaux d'apprentissages, le tout visant à améliorer la pratique de l'hygiène bucco-dentaire chez les enfants et également à motiver la prévention des maladies bucco-dentaires, thème sous-représenté dans les études actuelles malgré tout le potentiel ludique et éducatif proposé par ces technologies. Les auteurs placent beaucoup d'espoir dans ce protocole car selon eux, la génération actuelle des enfants est ce qu'on appelle des « natifs du numérique ». C'est-à-dire une génération qui est née immergée dans ces nouvelles technologies. Cette génération recherche de nouveaux contenus et activités qui pourraient les encourager à étudier et à apprendre. Aussi, il est donc normal d'adapter le processus d'apprentissage avec des techniques actuelles, comme la réalité augmentée ou la réalité virtuelle (96).

CONCLUSION

Les travaux sur l'analgésie induite par la RV sont récents. Le mécanisme sous-jacent de l'analgésie induite par la distraction en RV reste incertain. Divers travaux (notamment ceux de Hoffman *et al.* (47,62)) ont testé l'hypothèse selon laquelle la RV réduirait la douleur en déplaçant l'attention du monde réel vers le monde virtuel. Selon les auteurs, « il est [alors] tentant de supposer que la distraction RV attire effectivement l'attention et que la distraction induite est le mécanisme sous-jacent de l'analgésie induite ». La théorie du gate control de Melzack et Wall (86) a souvent été présentée comme le principal modèle explicatif. Une autre explication viendrait du modèle cognitif-affectif de la fonction d'interruption de la douleur d'Eccleston et Crombez (37). La théorie de ces derniers, parue en 1999, modélise la douleur comme un moyen d'échapper à d'autres demandes concurrentes d'attention. La douleur est programmée pour interrompre les activités en cours et exige de l'attention. Pour les auteurs, cette « compétition » de l'attention est le candidat le plus sérieux pour guider cette recherche.

Après l'analyse de la littérature, il est possible de proposer une définition du distracteur idéal. Il nécessite :

- Une quantité optimale d'attention : de multiples modalités sensorielles et une participation active (émotionnelle) de l'utilisateur. La stimulation simultanée de plusieurs sens (vue, ouïe, toucher) induit vraisemblablement une plus grande immersion et, par conséquent, une distraction plus efficace que des techniques moins immersives.
- Les distracteurs émotionnellement positifs (paysage paisible, balade, nature) : la réduction de la douleur s'avère plus grande qu'avec les distracteurs émotionnellement négatifs.

La plupart des études supposent implicitement une relation directe entre le niveau d'immersion (dépendant de la qualité de la RV), la présence (sensation d'être présent dans un environnement autre que l'emplacement réel) et l'efficacité analgésique. Cependant, il n'y a pas encore de preuves que cette relation soit importante.

Les études soutiennent fortement que les distractions par RV sont des techniques cliniquement utilisables (compatible, réaliste) avec un potentiel élevé pour soulager la douleur et l'anxiété associée à différentes thérapies médicales. Concernant les enfants, l'intérêt est encore plus grand en ce qui concerne l'anxiété. En effet, la plupart des études montrent des enfants moins anxieux, plus

coopérant et appréciant le côté « fun » de l'expérience de RV (impactant favorablement la mémoire de la douleur). Ceci est notamment visible en étudiant le taux de cortisol salivaire, marqueur fiable de l'anxiété (85). Les distractions par RV se sont avérées efficaces chez une majorité de patients. Ce sont des techniques sûres et qui ne nécessitent aucune éducation préalable du patient. Elles peuvent être utilisées efficacement chez les enfants, les adolescents et les adultes en ajustant les images au stade de développement correspondant. Cependant, il reste encore beaucoup de recherches à faire avant de généraliser leur utilisation en chirurgie dentaire et en odontologie pédiatrique, en particulier.

Enfin, Wismeijer et Vingerhoets (49) proposent d'améliorer la qualité des recherches. Selon eux, les études devront

- aller au-delà des phases pionnières et mettre davantage l'accent sur la méthodologie. Par exemple, l'utilisation de très petits échantillons limite fortement la généralisation des résultats,
- être conçues en double (ou simple) aveugle, même si il semble évident que la conception d'une étude en double aveugle est problématique pour évaluer l'efficacité de l'utilisation de la distraction RV.

BIBLIOGRAPHIE :

1. stereoscopy.com - The Library: Wheatstone Paper 1838 [Internet]. [cited 2019 Jul 17]. Available from: <http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>
2. Brooks KR. Depth Perception and the history of three-dimensional art: who produced the first stereoscopic images? [Internet]. 2017 Jan 1 [cited 2019 Nov 7];8(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5298491/>
3. Berkman MI. History of Virtual Reality. In: Lee N, editor. Encyclopedia of computer graphics and games [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [cited 2019 Jul 18]. p. 1–9. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-08234-9_169-1
4. Wikipédia. Lunettes stéréoscopiques. [Internet]. 2020 [cited 2020 Mar 11]. Available from: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lunettes_st%C3%A9r%C3%A9oscopiques&oldid=166687088
5. Père O. Le crime était presque parfait de Alfred Hitchcock [Internet]. Olivier Père. 2012 [cited 2020 Jan 3]. Available from: <https://www.arte.tv/sites/olivierpere/2012/12/30/le-crime-etait-presque-parfait-dalfred-hitchcock/>
6. Le Corre B. On a retrouvé les ancêtres de l'Oculus [Internet]. L'Obs. [cited 2019 Jul 16]. Available from: <https://www.nouvelobs.com/rue89/rue89-rue89-culture/20160107.RUE1838/on-a-retrouve-les-ancetres-de-l-oculus.html>
7. USC School of Cinematic Arts. Morton Heilig : the father of virtual reality. Sensorama Simulator [Internet]. New-York; 1962. Available from: <http://www.mortonheilig.com/SensoramaPatent.pdf>
8. Sutherland IE. A Head-mounted Three Dimensional Display. In: Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I [Internet]. New York, NY, USA: ACM; 1968 [cited 2019 Jul 17]. Available from: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1476589.1476686>
9. Fisher SS, McGreevy M, Humphries J, Robinett W. Virtual environment display system. In: Proceedings of the 1986 workshop on Interactive 3D graphics - SI3D '86 [Internet]. Chapel Hill,: ACM Press; 1987 [cited 2019 Jul 18].. Available from: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/319120.319127>
10. Noble S. VR, AR, MR : le guide ultime de la réalité virtuelle, réalité augmentée et réalité mixte [Internet]. Aniwa. [cited 2019 Jul 24]. Available from: <https://www.aniwaa.fr/guide/vr-ar/vr-ar-mr-guide-ultime/>
11. Mestre D. Immersion and Presence. 2020 May 8; Available from: https://www.researchgate.net/profile/Daniel_Mestre/publication/239553303_Immersion_and_Presence/links/54f180e60cf24eb87942bc0c/Immersion-and-Presence.pdf
12. Azuma RT. A survey of augmented reality. In presence: teleoperators and virtual environments , 355-385. :48. [cited 1998 Aug]. Available from <https://www.cs.unc.edu/~azuma>
13. Artefacto. Définition : Qu'est-ce que la réalité mixte ? [Internet]. [cited 2019 Jul 19]. Available from: <https://www.artefacto-ar.com/realite-mixte/>

14. Comprendre la différence entre software et hardware [Internet]. [cited 2020 May 6]. Available from: <http://www.apprendreinformatique.fr/quelle-difference-entre-hardware-et-software/>
15. l'Espace Datapresse - Etude OpinionWay pour Doctolib : les Français et leur peur du dentiste [Internet]. [cited 2019 Nov 9]. Available from: http://www.espacedatapresse.com/fil_datapresse/consultation_cp.jsp?idcp=2815353
16. Association Dentaire Française. La douleur en odontologie. Fiches pratiques. [Internet]. [cited 2019 Nov 14]. Available from: <https://www.adf.asso.fr/fr/presse/fiches-pratiques/douleur>
17. International Association for the Study of Pain. IASP Terminology. Classification of chronic pain.- [Internet]. [cited 2019 Oct 26]. Available from: <https://www.iasp-pain.org/Education/Content.aspx?ItemNumber=1698#Pain>
18. LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX! [Internet]. [cited 2019 Nov 13]. Available from: https://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d_03/d_03_cr/d_03_cr_dou/d_03_cr_dou.html
19. Dallel R, Villanueva L, Woda A, Voisin D. Neurobiologie de la douleur trigéminal. Med Sci 2003 May;19(5):567–74.
20. Faculté de médecine de Toulouse, Jean-christophe Sol, Patrick Chaynes, Yves Lazorthes. « Chapitre 2 - Douleurs : bases anatomiques, physiologiques et psychologiques », http://www.medecine.upstlse.fr/DCEM2/module6/arielle/chapitre_02.pdf
21. Moura L da S, Costa PS, Costa LR. How Do Observational Scales Correlate the Ratings of Children's Behavior during Pediatric Procedural Sedation? BioMed Res Int. 2016;2016:1–11. Available from : <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2016/5248271/>
22. Abdelmoniem SA, Mahmoud SA. Comparative evaluation of passive, active, and passive-active distraction techniques on pain perception during local anesthesia administration in children. J Adv Res. 2016 May;7(3):551–6.
23. McGrath P, Seifert C, Speechley K, Booth J, Stitt L, Gibson M. A new analogue scale for assessing children's pain: an initial validation study. Pain. 1996 Mar;64(3):435–43.
24. Corah NL, Gale EN, Illig SJ. Assessment of a dental anxiety scale. J Am Dent Assoc. 1978 Nov;97(5):816–9.
25. Murray P, Liddell A, Donohue J. A longitudinal study of the contribution of dental experience to dental anxiety in children between 9 and 12 years of age. J Behav Med. 1989 Jun;12(3):309–20.
26. Wong HM, Humphris GM, Lee GT. Preliminary validation and reliability of the Modified Child Dental Anxiety Scale. Psychol Rep. 1998 Dec;83(3 Pt 2):1179–86.
27. Howard KE, Freeman R. Reliability and validity of a faces version of the Modified Child Dental Anxiety Scale. Int J Paediatr Dent. 2007 Jul;17(4):281–8.
28. Birmaher B, Khetarpal S, Brent D, Cully M, Balach L, Kaufman J, et al. The Screen for Child Anxiety Related Emotional Disorders (SCARED): scale construction and psychometric characteristics. J Am Acad Child Adolesc Psychiatr. 1997 Apr ;36(4):545–53.

29. Birmaher B, Brent DA, Chiappetta L, Bridge J, Monga S, Baugher M. Psychometric properties of the Screen for Child Anxiety Related Emotional Disorders (SCARED): a replication study. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatr*. 1999 Oct;38(10):1230–6.
30. Runyon K, Chesnut SR, Burley H. Screening for childhood anxiety: a meta-analysis of the screen for child anxiety related emotional disorders. *J Affect Disord*. 2018 Nov ;240:220–9.
31. VenhamD LL, Gaulin-KremerP E. A self-report measure of situational anxiety for young children. *Pediatr Dent*. 1979 ; vol1(n°2):6.
32. Bozovic D, Racic M, Ivkovic N. Salivary cortisol levels as a biological marker of stress reaction. *Med Arch (Sarajevo)*. 2013;67(5):374–7.
33. Blair J, Adaway J, Keevil B, Ross R. Salivary cortisol and cortisone in the clinical setting. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*. 2017 Jun ;24(3):161–8.
34. Conceição DB da, Schonhorst L, Conceição MJ da, Oliveira Filho GR de. [Heart rate and blood pressure are not good parameters to evaluate preoperative anxiety.]. *Rev Bras Anesthesiol*. 2004 Dec;54(6):769–73.
35. Paglia L, Gallus S, de Giorgio S, Cianetti S, Lupatelli E, Lombardo G, et al. Reliability and validity of the Italian versions of the Children's Fear Survey Schedule - Dental Subscale and the Modified Child Dental Anxiety Scale. *Eur J Paediatr Dent*. 2017 Dec;18(4):305–12.
36. Obradovic I. " La crise des opioïdes aux Etats-Unis. D'un abus de prescriptions à une épidémie aiguë. " *Potomac Papers*, n°35, Ifri, décembre 2018 :36.
https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/obradovic_crise_opioides_etatsunis_2018.pdf .
37. Eccleston C, Crombez G. Pain demands attention: a cognitive-affective model of the interruptive function of pain. *Psychol Bull*. 1999 May;125(3):356–66.
38. Bantick SJ, Wise RG, Ploghaus A, Clare S, Smith SM, Tracey I. Imaging how attention modulates pain in humans using functional MRI. *Brain J Neurol*. 2002 Feb;125(Pt 2):310–9.
39. Buhle J, Wager TD. Performance-dependent inhibition of pain by an executive working memory task. *Pain*. 2010 Apr;149(1):19–26.
40. Frankenstein UN, Richter W, McIntyre MC, Rémy F. Distraction modulates anterior cingulate gyrus activations during the cold pressor test. *NeuroImage*. 2001 Oct;14(4):827–36.
41. Wiech K, Seymour B, Kalisch R, Stephan KE, Koltzenburg M, Driver J, et al. Modulation of pain processing in hyperalgesia by cognitive demand. *NeuroImage*. 2005 Aug ;27(1):59–69.
42. Petrovic P, Petersson K, Ghatan P, Stone-Elander S, Ingvar M. Pain-related cerebral activation is altered by a distracting cognitive task. *Pain*. 2000 Mar;85(1–2):19–30.
43. Marchand S. Anatomie-physiologie de la chirurgie de la douleur. [Internet]. Faculté de médecine, université de Sherbrooke et CRCELB-CHUS, Québec, Canada. [cited 2019 Nov 14]. Available from: <http://www.chirurgiedeladouleur.fr/anatomie/>

44. Valet M, Sprenger T, Boecker H, Willoch F, Rummeny E, Conrad B, et al. Distraction modulates connectivity of the cingulo-frontal cortex and the midbrain during pain.-an fMRI analysis. *Pain*. 2004 Jun;109(3):399–408.
45. Sprenger C, Eippert F, Finsterbusch J, Bingel U, Rose M, Büchel C. Attention modulates spinal cord responses to pain. *Curr Biol*. 2012 Jun ;22(11):1019–22.
46. Amblard É. Facteurs prédictifs de réponse à la musicothérapie dans le cadre de douleurs chroniques. :41. Available from : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01716570/document>
47. Hoffman HG, Sharar SR, Coda B, Everett JJ, Ciol M, Richards T, et al. Manipulating presence influences the magnitude of virtual reality analgesia. *Pain*. 2004 Sep;111(1–2):162–8.
48. Hoffman HG, Patterson DR, Seibel E, Soltani M, Jewett-Leahy L, Sharar SR. Virtual reality pain control during burn wound debridement in the hydrotank. *Clin J Pain*. 2008 May;24(4):299–304.
49. Wismeijer AAJ, Vingerhoets AJJM. The use of virtual reality and audiovisual eyeglass systems as adjunct analgesic techniques: a review of the literature. *Ann Behav Med* 2005 Dec;30(3):268–78.
50. Kipping B, Rodger S, Miller K, Kimble RM. Virtual reality for acute pain reduction in adolescents undergoing burn wound care: a prospective randomized controlled trial. *Burns*. 2012 Aug ;38(5):650–7.
51. Hoffman HG, Richards TL, Van Oostrom T, Coda BA, Jensen MP, Blough DK, et al. The analgesic effects of opioids and immersive virtual reality distraction: evidence from subjective and functional brain imaging assessments. *Anesth Analg*. 2007 Dec;105(6):1776.
52. Faber AW, Patterson DR, Bremer M. Repeated use of immersive virtual reality therapy to control pain during wound dressing changes in pediatric and adult burn patients. : *J Burn Care Res*. 2013;34(5):563–8.
53. Schuemie MJ, van der Straaten P, Krijn M, van der Mast CA. Research on presence in virtual reality: a survey. *Cyberpsychol Behav*. 2001 Apr;4(2):183–201.
54. Nilsson S, Finnström B, Kokinsky E, Enskär K. The use of Virtual Reality for needle-related procedural pain and distress in children and adolescents in a paediatric oncology unit. *Eur J Oncol Nurs* 2009 Mar ;13:102–9.
55. Alshatrat SM, Alotaibi R, Sirois M, Malkawi Z. The use of immersive virtual reality for pain control during periodontal scaling and root planing procedures in dental hygiene clinic. *Int J Dent Hyg*. 2019 Feb;17(1):71–6. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/idh.12366>
56. Tanja-Dijkstra K, Pahl S, P. White M, Auvray M, Stone RJ, Andrade J, et al. The soothing sea: a virtual coastal walk can reduce experienced and recollected pain. *Environ Behav [Internet]*. 2017 Jun 14 [cited 2019 Nov 1]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5992839/#bibr19-0013916517710077>
57. Arane K, Behboudi A, Goldman RD. La réalité virtuelle pour la prise en charge de la douleur et de l'anxiété chez l'enfant. *Can Fam Physician*. 2017 Dec;63(12):935–7.
58. Touati G. La peur des soins dentaires: gestion des patients phobiques. [Internet]. [Thèse d'exercice]. [Nancy-Metz, France] . Université Henri Poincaré Nancy 1. Unité de Formation et de Recherche d'odontologie ; 2010. [cited 2019 Nov 14]. Available from:

<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pg8zfn5t3JAJ:https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01738755/document+&cd=6&hl=fr&ct=clnk&gl=fr&client=firefox-b-d>

59. Armfield J, Heaton L. Management of fear and anxiety in the dental clinic: a review. *Aust Dent J*. 2013 Dec;58(4):390–407.
60. Heidari E, Andiappan M, Banerjee A, Newton JT. The oral health of individuals with dental phobia: a multivariate analysis of the Adult Dental Health Survey, 2009. *Br Dent J*. 2017 Apr;222(8):595–604.
61. La peur du dentiste - Définition, origines, symptômes... comment y remédier? [Internet]. [cited 2019 Nov 20]. Available from: <https://www.peurdudentiste.com/la-peur-du-dentiste/>
62. Hoffman HG, Garcia-Palacios A, Carlin A, III TAF, Botella-Arbona C. Interfaces that heal: coupling real and virtual objects to treat spider phobia. *Int J Human–Comput Interact*. 2003 Oct;16(2):283–300.
63. Guze SB. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 4th ed. *Am J Psychiatry*. 1995 Aug ;152(8):1228–1228.
64. Ganry L, Hersant B, Sidahmed-Mezi M, Dhonneur G, Meningaud JP. Using virtual reality to control preoperative anxiety in ambulatory surgery patients: A pilot study in maxillofacial and plastic surgery. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2018 Sep ;119(4):257–61.
65. Lahti S, Suominen A, Freeman R, Lähteenoja T, Humphris G. Virtual reality relaxation to decrease dental anxiety: immediate effect randomized clinical trial. *JDR Clin Transl Res*. 2020 Jan . [Epub ahead of print]
66. Institut Français d’Hypnose. Formation Hypnose Dentaire - Hypnoanalgésie pour les dentistes et les stomatologues [Internet]. [cited 2020 Feb 6]. Available from: <https://www.hypnose.fr/nos-formations/formation-hypnose-dentiste/>
67. HypnoVR - Logiciel d’hypnose médicale par réalité virtuelle [Internet]. [cited 2020 Feb 7]. Available from: <https://hypnovr.io/>
68. Effect of Virtual Reality Hypnosis on Postoperative Pain and Morphine Consumption after Surgery for Scoliosis: A Retrospective Evaluation in Children [Internet]. [cited 2020 Feb 6]. Available from: <http://www.asaabstracts.com/strands/asaabstracts/abstract.htm?year=2018&index=16&absnum=4261>
69. Oliveira NCAC, Santos JLF, Linhares MBM. Audiovisual distraction for pain relief in paediatric inpatients: a crossover study. *Eur J Pain*. 2017 Jan;21(1):178–87.
70. Bioulac S, de Sevin E, Sagaspe P, Claret A, Philip P, Micoulaud-Franchi JA, et al. Qu’apportent les outils de réalité virtuelle en psychiatrie de l’enfant et de l’adolescent ? *L’Encéphale*. 2018 Jun;44(3):280–5.
71. A sweeter smile through Augmented Reality [Internet]. [cited 2019 Nov 21]. Available from: <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2017/09/sweeter-smile-through-augmented-reality.html>

72. Laupie J. Innovations dentaires : quand la réalité rattrape la fiction ! [Internet]. NexTDentiste. 2017 [cited 2019 Nov 20]. Available from: <http://www.nextdentiste.com/realite-rattrape-fiction/>
73. Ivoclar-Vivadent. Comment la réalité augmentée facilite le traitement dentaire. Entretien avec Roland Mörzinger, PDG et cofondateur de Kapanu AG (Zurich / Suisse) [Internet]. [cited 2019 Nov 21]. Available from: <https://blog.ivoclarvivadent.com/dentist/fr/comment-la-réalité-augmentée-facilite-le-traitement-dentaire>
74. The Effectiveness of Virtual Reality for Dental Pain Control: A Case Study | CyberPsychology & Behavior [Internet]. [cited 2018 Nov 26]. Available from: <https://www.liebertpub.com/doi/pdf/10.1089/109493101750527088>
75. Furman E, Jasinevicius TR, Bissada NF, Victoroff KZ, Skillicorn R, Buchner M. Virtual reality distraction for pain control during periodontal scaling and root planing procedures. J Am Dent Assoc. 2009 Dec;140(12):1508–16.
76. MEOPA : Mélange équimoléculaire oxygène protoxyde d’azote – Pediadol [Internet]. [cited 2020 Mar 29]. Available from: <https://pediadol.org/meopa-melange-equimoleculaire-oxygene-protoxyde-dazote/>
77. Annequin D. MEOPA : Mélange équimoléculaire oxygène protoxyde d’azote. – Pediadol [Internet]. [cited 2020 Mar 29]. Available from: <https://pediadol.org/meopa-melange-equimoleculaire-oxygene-protoxyde-dazote/>
78. Gall O, Annequin D, Benoit G, Glabeke E, Vrancea F, Murat I. Adverse events of premixed nitrous oxide and oxygen for procedural sedation in children. Lancet Lond Engl. 2001 Nov 3;358(9292):1514–5.
79. Bentsen B, Wenzel A, Svensson P. Comparison of the effect of video glasses and nitrous oxide analgesia on the perceived intensity of pain and unpleasantness evoked by dental scaling. Eur J Pain. 2003 Feb;7(1):49–53.
80. David Joseph. Impact de la simulation haptique dans l’enseignement en odontologie. Médecine humaine et pathologie. Université de Lorraine, 2017. Français. NNT: 2017LORR0233.
81. Hough-Telford C, Kimberlin DW, Aban I, Hitchcock WP, Almquist J, Kratz R, et al. Vaccine Delays, Refusals, and Patient Dismissals: A Survey of Pediatricians. Pediatrics [Internet]. 2016 Sep 1 [cited 2020 May 6];138(3). Available from: <https://pediatrics.aappublications.org/content/138/3/e20162127>
82. Chad R, Emaan S, Jillian O. Effect of virtual reality headset for pediatric fear and pain distraction during immunization. Pain Manag. 2018 May;8(3):175–9.
83. Le Parisien. Mort de Michael Jackson : ce que dit le rapport d’autopsie. [Internet]. [cited 2020 Apr 8]. Available from: <http://www.leparisien.fr/culture-loisirs/musique/mort-de-michael-jackson-ce-que-dit-le-rapport-d-autopsie-10-02-2010-811196.php>
84. Faruki A, Nguyen T, Proeschel S, Levy N, Yu J, Ip V, et al. Virtual reality as an adjunct to anesthesia in the operating room. Trials [Internet]. 2019 Dec 27 [cited 2020 Mar 25];20. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6935058/>
85. Sweta VR, Abhinav RP, Ramesh A. Role of virtual reality in pain perception of patients following the administration of local anesthesia. Ann Maxillofac Surg. 2019;9(1):110–3.

86. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. *Science*. 1965 Nov ;150(3699):971–9.
87. Aminabadi NA, Farahani RMZ, Balayi Gajan E. The efficacy of distraction and counterstimulation in the reduction of pain reaction to intraoral injection by pediatric patients. *J Contemp Dent Pract*. 2008 Sep ;9(6):33–40.
88. Vafaei A, Rahbar M, Dadkhah R, Ranjkesh B, Erfanparast L. Children’s pain perception and behavioral feedback during local anesthetic injection with four injection site preparation methods. *Mædica*. 2019 Dec;14(4):343–9.
89. Nunna M, Dasaraju RK, Kamatham R, Mallineni SK, Nuvvula S. Comparative evaluation of virtual reality distraction and counter-stimulation on dental anxiety and pain perception in children. *J Dent Anesth Pain Med*. 2019 Oct;19(5):277–88.
90. Sullivan C, Schneider PE, Musselman RJ, Dummett CO, Gardiner D. The effect of virtual reality during dental treatment on child anxiety and behavior. *ASDC J Dent Child*. 2000 Jun;67(3):193–6, 160–1.
91. Atzori B, Lauro Grotto R, Giugni A, Calabrò M, Alhalabi W, Hoffman HG. Virtual reality analgesia for pediatric dental patients. *Front Psychol* [Internet]. 2018 Nov 23 [cited 2020 Mar 28];9. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6265341/>
92. Niharika P, Reddy NV, Srujana P, Srikanth K, Daneswari V, Geetha KS. Effects of distraction using virtual reality technology on pain perception and anxiety levels in children during pulp therapy of primary molars. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2018 Jan;36(4):364.
93. Asl Aminabadi N, Erfanparast L, Sohrabi A, Ghertasi Oskouei S, Naghili A. The impact of virtual reality distraction on pain and anxiety during dental treatment in 4-6 year-old children: a randomized controlled clinical trial. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2012;6(4):117–24.
94. Koticha P, Katge F, Shetty S, Patil DP. Effectiveness of virtual reality eyeglasses as a distraction aid to reduce anxiety among 6–10-year-old children undergoing dental extraction procedure. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2019;12(4):297–302.
95. Shetty V, Suresh LR, Hegde AM. Effect of virtual reality distraction on pain and anxiety during dental treatment in 5 to 8 year old children. *J Clin Pediatr Dent*. 2019 Jan ;43(2):97–102.
96. Amantini SNSR, Montilha AAP, Antonelli BC, Leite KTM, Rios D, Cruvinel T, et al. Using augmented reality to motivate oral hygiene practice in children: protocol for the development of a serious game. *JMIR Res Protoc*. 2020 Jan ;9(1):e10987.
97. Ifenthaler D, Eseryel D, Ge X. Assessment for Game-Based Learning. In: Ifenthaler D, Eseryel D, Ge X, editors. *Assessment in Game-Based Learning: Foundations, Innovations, and Perspectives* [Internet]. New York, NY: Springer; 2012 [cited 2020 Feb 19]. p. 1–8. Available from: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3546-4_1
98. Halverson R, Owen VE. Game-based assessment: an integrated model for capturing evidence of learning in play. *Int J Learn Technol*. 2014 Jan ;9(2):111–38.

TABLE DES FIGURES :

Figure 1 Le Jeune homme assis, Jacopo Chimenti, https://pba.lille.fr/Collections/Chefs-d-OEuvre/Dessins-et-photographies/Jeune-homme-assis	12
Figure 2 : Stéréoscope de Wheastone (1).....	13
Figure 3 : Exemples de figures utilisées dans le stéréoscope, la forme « a » correspondant à un œil, la « b » à l'autre (1).	14
Figure 4 : Stéréoscope de Brewster, http://www.stereoscopie.eu/hist/histoire.htm	14
Figure 5 : Stéréoscope de Holmes, https://imagestereoscopiques.com/stereokezako/millions-vues-stereoscopiques/	15
Figure 6 : Schéma de la Sensorama de Heilig (7)	16
Figure 7 : Ultimate Display (8).....	17
Figure 8 : Vue éclatée du casque mis au point par McGreevy pour le projet VIVED de la NASA (10) ..	18
Figure 9 : Casque de réalité virtuelle Oculus rift avec commandes manuelles haptiques, https://www.oculus.com/rift/?locale=fr_FR#oui-csl-rift-games=mages-tale	20
Figure 10 : Microsoft Hololens 2, casque de réalité mixte, https://www.microsoft.com/fr-fr/hololens	22
Figure 11 : HTC vive pro, https://www.vive.com/fr/	23
Figure 12 : ALLOSKY HEADSET de Skylights, https://www.skylights.aero/	23
Figure 13 : Samsung Gear VR, https://www.samsung.com/fr/wearables/gear-vr/	24
Figure 14 : Schéma de l'organisation du complexe sensitif du trijumeau et de ses connexions, selon R. Dallel et al. (19)	28
Figure 15 : Schéma d'une coupe transversale de l'encéphale représentant les différentes afférences neuronales d'un message nociceptif (27)	29
Figure 16 : Exemple d'échelle EVA, face graduée au verso (en haut) visible par le praticien, et la face recto visible par le patient, http://www.antalvite.fr/pdf/echelle_visuelle_analogique.htm	34
Figure 17 : échelle CAS (23).....	34
Figure 18: Echelle de la douleur Wong-Baker Faces, https://wongbakerfaces.org/instructions-use/ .	35
Figure 19 : visages utilisés pour répondre à la MCDAS(f)(27)	36
Figure 20 : Image du Venham Picture Test (31)	39
Figure 21 : Schéma représentant la projection virtuelle des mouvements réellement effectués par le sujet (96).....	71
Figure 22 : Schéma des étapes d'apprentissage des gestes du brossage (96).....	71
Figure 23 : Représentation d'une arcade dentaire, l'incisive centrale maxillaire gauche n'est pas encore parfaitement propre (96)	72

TABLE DES TABLEAUX :

Tableau 1: Les 6 Items du VCARS (21)	31
Tableau 2 : Les 4 Items de Frankl (21)	32
Tableau 3 : Echelle FLACC (21)	32
Tableau 4 : Echelle Sound Ear Motor (SEM) (22)	33
Tableau 5 : Exemple de 8 questions (MCDAS) pour des patients en odontologie pédiatrique (26).....	36
Tableau 6 : Echelle SCARED (traduite en français (ci-dessous) et version originale(ci-dessus)) (16)....	37

PEREIRA (Tiago) – La réalité virtuelle peut-elle avoir un intérêt en odontologie pédiatrique ? – 84f. ; ill. : tabl. ; 98 ref. ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent ; Nantes ; 2020)

RÉSUMÉ

La réalité virtuelle englobe toutes les expériences immersives disponibles via un casque de réalité virtuelle. L'utilisateur est immergé dans un environnement virtuel avec lequel il peut interagir et est coupé du monde réel.

Récemment, l'industrie du jeu-vidéo a permis d'apporter de nombreuses innovations à la réalité virtuelle qui commence à être peu à peu utilisée en santé. En effet, cet outil de distraction de l'attention qui est facile d'utilisation et qui ne présente que peu d'effets secondaires, pourrait permettre de traiter des phobies et aurait des effets antalgiques et/ou anxiolytiques.

Il est admis que le cabinet dentaire est souvent source d'anxiété, notamment chez les plus jeunes. Cette anxiété (ou peur du dentiste) a plusieurs origines. L'une d'elles étant la douleur qui, au cabinet dentaire, peut être à la fois le motif de la consultation et une conséquence du refus du soin. La recherche de solutions antalgiques non pharmacologique augmente et pousse les praticiens à se tourner vers des méthodes alternatives. La réalité virtuelle est l'une de ces méthodes.

Dans ce travail de thèse, la revue de la littérature des études sur les effets de la réalité virtuelle en odontologie pédiatrique montre que cette technique présente un réel potentiel. Elle permettrait de baisser le niveau de douleur ressenti par les patients et de diminuer fortement l'anxiété ressentie avant et pendant le soin. Ces résultats sont visibles grâce à différents marqueurs, notamment le cortisol salivaire.

En conclusion, il semble que la réalité virtuelle soit une méthode facilement utilisable au cabinet dentaire et ne nécessitant que peu de formation. Cependant, avant de proposer son utilisation à tous les cabinets dentaires, des études supplémentaires sont nécessaires.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT

Pédodontie

MOTS CLÉS MESH:

Virtual reality / réalité de synthèse - Pediatric dentistry / Pédodontie - Anesthésie locale / anesthesia, local - Analgésiques / Analgesics - Gestion de la douleur / Pain management - Phobie des soins dentaires / Dental anxiety

JURY

Président : Professeur Alliot-Licht B.
Assesseur : Docteur Dajean-Trutaud S.
Assesseur : Docteur Enkel B.
Assesseur : Docteur Renard E.
Directeur : Professeur Alliot-Licht B.

ADRESSE DE L'AUTEUR

6 Rue Neuve des Capucins – 44000 Nantes
pachecopereirat@gmail.com