



HAL
open science

Place de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur du syndrome douloureux régional complexe en milieu pédiatrique : revue de littérature

Romain Doucet

► To cite this version:

Romain Doucet. Place de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur du syndrome douloureux régional complexe en milieu pédiatrique : revue de littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. dumas-01479095

HAL Id: dumas-01479095

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01479095>

Submitted on 28 Feb 2017

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



INSTITUT DE FORMATION EN MASSO KINÉSITHÉRAPIE

22 avenue Camille Desmoulins

29238 BREST CEDEX 3

Place de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur du syndrome douloureux régional complexe en milieu pédiatrique : revue de littérature

Doucet Romain

En vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute

Année 2013-2016

Je tiens à adresser tous mes remerciements aux personnes qui m'ont épaulé de près ou de loin dans la rédaction de ce mémoire.

Premièrement, je tiens à remercier ma famille, pour son indéfectible support dans la vie et dans la rédaction du mémoire.

Je remercie également les personnes m'ayant fourni leur aide et dont les précieux conseils m'ont permis d'avancer, étape par étape : Mr Lestideau, mon directeur de mémoire, Mr Brochard, Mr Querrec, chercheur au Centre Européen de Réalité Virtuelle (CERV), Mr Le Moine, ainsi que l'ensemble de l'équipe formatrice de l'IFMK de Brest (Mme Madec, Mme Alexandre, Mme Macé, Mr Le Roy, Mr Créac'h, Mme Richard).

SOMMAIRE

I.	Introduction	1
A.	Questionnements autour du syndrome douloureux régional complexe en pédiatrie	1
B.	Situation d’ancrage.....	1
II.	La douleur : centre névralgique du syndrome douloureux régional complexe.....	2
A.	Généralités.....	2
B.	Classifications de la douleur	2
C.	Les perturbations des systèmes nerveux périphérique et central	3
D.	Le contrôle physiologique de la douleur	4
E.	Neuroplasticité	5
F.	Spécificités de la prise en charge de la douleur en pédiatrie	5
III.	Le syndrome douloureux régional complexe.....	6
A.	Généralités.....	6
B.	Le diagnostic du SDRC.....	6
C.	Les formes cliniques	8
D.	Le traitement du SDRC.....	9
IV.	La réalité virtuelle	10
A.	Introduction à la réalité virtuelle	10
B.	Perception, immersion et interaction.....	10
C.	Applications	11
D.	Avantages et limites de la réalité virtuelle en rééducation.....	13
V.	Revue de littérature	14
A.	Objectifs	14
B.	Méthodologie	14
C.	Réorganisation corticale dans le SDRC	15
D.	Traitement actuel du SDRC en pédiatrie	16
E.	La réalité virtuelle	19
F.	Critique de revue de littérature	22
G.	Conclusion.....	23
VI.	Discussion.....	24
A.	Hypothèse sur l’origine de la réorganisation cérébrale.....	24
B.	Hypothèse sur le mode d’action de la réalité virtuelle.....	25
C.	Quel est l’intérêt de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur d’un enfant atteint de SDRC ?	26
D.	Proposition d’un protocole expérimental	27
VII.	Conclusion	30

I. Introduction

A. Questionnements autour du syndrome douloureux régional complexe en pédiatrie

Le syndrome douloureux régional complexe (SDRC) est une pathologie peu connue dont le déclenchement et les diverses manifestations cliniques ont été peu étudiées et sont donc mal comprises de nos jours. Les avancées récentes sont en contradiction avec les savoirs jusqu'à présent définis comme normes, notamment l'hyperfonctionnement du système nerveux sympathique qui serait à l'origine de la maladie. Cette idée est aujourd'hui remise en cause. Chez l'enfant et l'adolescent, la fréquence d'apparition de cette pathologie est sous-estimée, ce qui explique le manque d'informations du personnel de santé confronté à ce type de patients et la difficulté de prise en charge en milieu pédiatrique. Face à la grande diversité de tableaux cliniques qu'engendre cette affection, le milieu médical s'est remis en question afin de déterminer s'il n'existait pas une méthode à la fois plus efficace pour améliorer les symptômes persistants et plus adaptée à chaque type de patient afin de permettre une rééducation optimale.

Devant le manque d'études et de résultats probants des différentes thérapeutiques actuelles, l'incorporation d'une nouvelle méthode de rééducation répondant aux objectifs mis en place est tout à fait d'actualité. En effet, le traitement actuel est basé sur un consensus professionnel et non sur des résultats d'études contrôlées randomisées, et ce pour trois raisons :

- l'absence d'explication physiopathologique convaincante,
- la difficulté de l'essai clinique en Médecine Physique et de Réadaptation (MPR),
- l'effet placebo évalué à 33% chez le patient atteint de SDRC (Ochoa, 1995) (1).

Nous avons également été confrontés à une seconde problématique de terrain. Les patients mineurs atteints du SDRC nécessitent une période de rééducation importante avec une prise en charge spécifique en raison de leur âge et des fortes limitations d'activité et restrictions de participation, éléments entraînant un coût économique non négligeable. Or, le retour le plus rapide à une autonomie et une indépendance fonctionnelle est primordial à cette époque de la vie.

Dans ce contexte, les innovations technologiques comme la réalité virtuelle peuvent apporter un gain à la fois pour la pratique du kinésithérapeute et également pour la santé du patient.

B. Situation d'ancrage

Lors de mon stage au sein de centre de Rééducation Fonctionnelle pour enfants Mathieu Donnart, du 09 mars au 10 avril 2015, j'ai pu observer la diversité de pathologies dont les enfants peuvent être atteints ; de l'inégalité des membres inférieurs à la dysplasie de hanche et évidemment le syndrome douloureux régional complexe. J'avais déjà entendu parler de cette pathologie mais je ne pensais pas la rencontrer dans un centre de pédiatrie, pensant que seul l'adulte était impacté. J'ai donc été surpris, à mon arrivée au sein de la structure, de voir deux enfants pris en charge pour rééducation d'un SDRC, l'un étant atteint au niveau de la cheville et l'autre au genou.

L'un des patients étant en toute fin de rééducation, je me suis donc intéressé à E., un jeune garçon de 8 ans présent au centre depuis une semaine. E. est pris en charge au sein du service de Médecine Physique et Réadaptation (MPR) du centre Mathieu Donnart pour rééducation d'un SDRC suite à une entorse du ligament collatéral fibulaire datant du 28 janvier 2014. Il a été immobilisé par un plâtre cruropédieux pendant trois semaines. Suite à cette période, il ressentait des douleurs anormales au niveau de la jambe. Il arrive au centre Mathieu Donnart suite au diagnostic de SDRC le 02 mars 2015.

II. La douleur : centre névralgique du syndrome douloureux régional complexe

A. Généralités

La notion de douleur a été définie par l'Association Internationale pour l'Etude de la Douleur (IASP) selon les termes suivants : «*expérience sensorielle et émotionnelle désagréable, associée à un dommage tissulaire réel ou potentiel ou décrites en termes d'un tel dommage*».

Cette définition possède l'intérêt de prendre en compte les différentes composantes de la douleur, et nous amène à différencier plusieurs types de douleurs, suivant la durée de la nociception et son origine.

B. Classifications de la douleur

• Selon la durée de la nociception

Douleur aiguë

C'est une manifestation physiologique d'installation récente (inférieure à trois mois), en réponse à un stimulus douloureux et permettant de protéger l'organisme (2). Elle est à l'origine de réactions dont la finalité est de diminuer la cause nociceptive et d'en réduire les conséquences.

Douleur chronique

En opposition à la douleur aiguë, c'est une douleur perdurant depuis trois mois ou plus et ne correspondant pas à une réponse physiologique "normale"(2). On peut considérer une douleur comme chronique quand elle est rebelle à tout traitement symptomatique bien adapté. Elle a un impact délétère sur le patient, tant du point de vue physique que psychologique et social (3).

• Selon l'origine du stimulus

Douleurs dues à un excès de stimulations nociceptives

Les nocicepteurs périphériques vont générer un grand nombre d'influx nociceptifs au sein des tissus lésés. C'est le mécanisme le plus fréquemment rencontré dans la plupart des douleurs aiguës (4).

Douleurs d'origine neuropathique

Le terme de "douleur neuropathique" a été redéfini en 2008 par l'IASP : «*douleur secondaire à une lésion ou une maladie affectant le système somato-sensoriel*» (5).

Ces douleurs sont toujours en association avec des lésions nerveuses périphériques ou centrales (atteinte d'un nerf périphérique, d'une zone du système nerveux central, ...). Elles sont également souvent la source d'une chronicisation de la nociception.

Ce type de douleur prédomine chez les patients souffrant de SDRC.

Au niveau clinique, l'interrogatoire va permettre de distinguer les douleurs "spontanées" souvent continues (brûlures, torsion) des douleurs paroxystiques (décharges électriques).

Il est essentiel de qualifier et quantifier l'ensemble des paramètres de la douleur ce qui permettra de distinguer plusieurs symptômes assez caractéristiques, avec notamment :

- paresthésies : *sensations anormales non douloureuses à type de fourmillements, de picotements, d'engourdissement,*
- allodynie : *douleur causée par une stimulation qui, normalement, ne produit pas de douleur,*
- hyperalgésie : *réponse exagérée à une stimulation qui, normalement, est douloureuse,*
- hyperpathie : *syndrome douloureux caractérisé par une réponse exagérée à un stimulus qui est répétitif et donc le seuil est augmenté, avec fréquemment une sensation*

d'irradiation et de rémanence témoignant d'une véritable sommation spatiale et temporelle.

C. Les perturbations des systèmes nerveux périphérique et central

• **Introduction**

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer l'origine de cette maladie, origine non encore déterminée de nos jours. Les dernières avancées s'accordent sur le fait que le fondement de la physiopathologie du SDRC est dû à des phénomènes de sensibilisations périphérique (inflammation neurogène) et centrales.

Au travers du trajet de l'influx nociceptif (**Annexe I**), nous allons définir les trois niveaux de sensibilisation possibles, à l'origine de la pérennisation des douleurs.

• **Le système nerveux périphérique**

Les acteurs de la transmission

Les récepteurs sensoriels spécifiques ou nocicepteurs transmettent le message nerveux au cordon segmentaire de la moelle épinière correspondant à la localisation de la stimulation, via un nerf afférent dont le corps cellulaire se situe dans le ganglion spinal.

Les fibres sensibles transmettant l'influx nociceptif sont classées en trois groupes (6) :

- des fibres fortement myélinisées, donc de diamètre et de vitesse de conduction importants, n'intervenant pas dans la douleur : fibres A α (pour le toucher) et A β (pour la proprioception),
- des fibres peu myélinisées (diamètre et vitesse de conduction plus faibles) : fibres A δ , qui transmettent le premier message douloureux de type 'piqûre', lorsque l'intensité de la stimulation nociceptive augmente,
- des fibres, amyéliniques, de conduction lente : les fibres C, qui, excitées par le stimulus véhiculent une douleur intense et prolongée.

Les médiateurs périphériques

Des substances chimiques sont libérées lors de lésions (**Annexe II**).

Elles ont deux modalités d'action :

- activation des nocicepteurs = substances algogènes. La bradykinine est la plus connue d'entre elles, mais sont également retrouvées l'histamine, la sérotonine, etc. Ces substances peuvent abaisser les seuils d'activation des fibres de petit calibre, les rendant sensibles aux stimulations thermiques et mécaniques (3).
- sensibilisation des nocicepteurs à d'autres stimuli, ce qui entraîne l'action des prostaglandines et des leucotriènes.

Parmi les peptides mis en jeu dans la transmission du message nociceptif, la substance P a un rôle primordial. En effet, elle a une action vasodilatatrice et entraîne une libération d'histamine par les mastocytes et de sérotonine par les plaquettes, phénomènes à l'origine de l'inflammation neurogène (2).

Les manifestations cliniques de ces réactions chimiques sont une vasodilatation et un œdème, ayant pour conséquences une persistance des douleurs et une hyperalgésie autour de la lésion initiale, à distance du stimulus.

C'est l'hyperalgésie primaire, correspondant à la sensibilisation des nocicepteurs, et une modification des réponses : seuil d'activation abaissé, latence diminuée, réponses exagérées aux stimulations non nociceptives.

- **Le système nerveux central**

Transmission de l'influx nerveux à l'étage supra-médullaire

Les fibres A δ et C se répartissent dans la substance dorso-latérale de la moelle épinière et font synapse avec les neurones nociceptifs spécifiques et non spécifiques ou neurones à convergence (6).

Ces derniers, recevant des informations des fibres myélinisées A β et des fibres C amyéliniques, sont sensibles à des stimuli mécaniques et thermiques. Ils véhiculent un stimulus nociceptif suivant l'intensité de la stimulation.

Ils sont à l'origine de la sensibilisation centrale au niveau de la moelle. Ces neurones sont activés par de simples stimulations tactiles véhiculées par les mécanorécepteurs aux seuils abaissés et par les fibres A β , responsables de l'allodynie ainsi que du maintien des douleurs après disparition de la cause initiale (2).

Les voies ascendantes de petit calibre

Différents faisceaux sont mis en place pour véhiculer l'information nociceptive. Certaines fibres décussent (croisent la ligne médiane) pour cheminer dans le cordon antérolatéral controlatéral tandis que d'autres vont rester du même côté pour former le cordon ipsilatéral. On peut en citer deux principaux (6)(3) :

- faisceau spino-thalamique : composante sensorielle, discriminative de la nociception (intensité, durée, localisation, etc).
- faisceau spino-réticulo-thalamique : message douloureux interprété selon le vécu de la personne, sa personnalité et ses réaction émotionnelles.

Les acteurs de la transmission

La transmission se réalise grâce à l'intervention d'acides aminés excitateurs (aspartate, glutamate) et de neuropeptides, comme la substance P (3).

Les neuromédiateurs permettent la transmission de l'influx nerveux entre les afférences nociceptives et les neurones nociceptifs spinaux. Ils sont à l'origine, en cas de sur sollicitation, d'une sensibilisation des neurones convergents, elle-même responsable de l'hyperalgésie secondaire.

Plusieurs modifications médullaires s'ensuivent : intensité de la réponse augmentée pour un stimulus nociceptif ou non, élargissement du champ récepteur et allongement de la durée de la dépolarisation. La sensation du toucher peut devenir douloureuse : c'est l'allodynie (2).

D. Le contrôle physiologique de la douleur

- **A la périphérie**

Un mécanisme de modulation du message a été identifié de façon certaine. Les endomorphines interviennent comme inhibiteurs de la substance P.

- **A l'étage médullaire**

La moelle épinière n'a pas un simple rôle de transmission de l'influx nerveux mais joue aussi le rôle de filtre capable d'augmenter ou de diminuer le message douloureux.

On retrouve le mécanisme Gate Control (**Annexe III**) décrit par MELZACK et WALL (3).

L'influx transmis par les fibres A α et A β arrive en premier au niveau de la corne dorsale de la moelle épinière, ce qui active les collatérales de ces grosses fibres. Elles vont alors avoir un effet inhibiteur sur le message douloureux et plus lent des fibres A δ et C, au niveau des neurones convergents. Cette inhibition perdure tant que le message est faible, la porte reste fermée. En revanche, si un seuil critique est atteint, la porte est "forcée" et la douleur est alors ressentie.

- **A l'étage supra-médullaire**

Les contrôles descendants

Le contrôle du message nociceptif s'exerce au niveau du tronc cérébral et du thalamus, impliquant plusieurs structures : substance grise périaqueducule (SGPA), le noyau du raphé magnus (NRM), l'aire para brachiale, et l'hypothalamus (2).

Les substances jouant un rôle important sont la sérotonine, la noradrénaline, les endomorphines et d'autres peptides.

Les contrôles inhibiteurs diffus induits par la nociception (CIDN)

Les neurones de convergence peuvent être inhibés par un influx nerveux uniquement s'il est nociceptif et en dehors de leur champ périphérique excitateur (2).

E. Neuroplasticité

L'exposition à une douleur intense et prolongée a des conséquences électro physiologiques au niveau cérébral. En effet, il existe un remodelage des voies de la douleur dans la corne dorsale, le cortex, site de mémorisation de la douleur, et le thalamus sensitif. Plus la lésion est sévère et chronique, plus le remodelage est important, ce qui pourrait expliquer le caractère disproportionné de certaines douleurs rebelles par rapport à la lésion causale (5).

F. Spécificités de la prise en charge de la douleur en pédiatrie

- **Développement cognitif**

L'enfance et l'adolescence sont des périodes de la vie marquées par de nombreuses modifications corporelles, tant sur les plans biologique, cognitif que psychique et social (7) (8).

L'enfant est en perpétuelle quête d'identité face à ces changements et à la découverte de son nouveau corps (9).

Selon les stades de développement cognitif de Piaget (10), l'enfant n'est capable de réaliser des opérations formelles qu'à partir de 11/12 ans. C'est à partir de ce moment-là qu'il possède les capacités d'abstraction et d'introspection nécessaires qui lui permettent de faire face à un phénomène douloureux non expliqué. Ces mécanismes peuvent être perturbés en cas de douleurs chroniques.

- **Mémoire de la douleur**

Notre cerveau a la faculté d'enregistrer et de restituer des expériences douloureuses vécues antérieurement (**Annexe IV**), selon deux modalités (4).

La mémoire explicite est la partie consciente de la mémoire de la douleur. L'enfant se souvient de l'évènement douloureux et peut le raconter. Elle est active après trois ou quatre ans.

La mémoire implicite, inconsciente, module les caractéristiques de la douleur si l'évènement nociceptif est similaire à une situation déjà vécue. Elle est active à tout âge.

Selon nos expériences par rapport à des évènements douloureux antérieurs, nous allons réagir de trois façons possibles face à un stimulus nociceptif :

- tolérance : diminution de la douleur au fil des stimuli ; personnes matures,
- variabilité : réactions imprévisibles,
- sensibilisation : augmentation de la douleur au fur et à mesure des soins ; enfants et surtout nouveau-nés.

On constate que les enfants sont plus affectés par les phénomènes de sensibilisation et que la chronicisation de la douleur à cette période de la vie peut être à l'origine de possibles récurrences au vu de la mémoire nociceptive. De plus, la non compréhension de la souffrance peut entraîner un traumatisme psychologique (7). Les conséquences seront une peur voire une phobie des soins, une perte de confiance envers les adultes sensés les protéger face à la douleur, ainsi que des troubles du comportement ou de l'anxiété, pouvant conduire jusqu'à la dépression.

III. Le syndrome douloureux régional complexe

A. Généralités

- **Définition**

Autrefois appelés "ostéoporose douloureuse post-traumatique" (Leriche, 1930), algoneurodystrophie ou reflex sympathetic dystrophy dans la littérature anglo-saxonne (11), la définition la plus correcte du SDRC (déterminée en 1993 par consensus international) repose dans sa nouvelle terminologie : c'est un Syndrome qui selon le dictionnaire est un « *Ensemble de plusieurs symptômes ou signes en rapport avec un état pathologique donné et permettant, par leur groupement, d'orienter le diagnostic* », dont le signe clinique prédominant est la douleur, intéressant une région du corps humain et avec des complexités physiopathologique et de survenue sont encore indéfinies.

- **Types de SDRC**

Il existe deux types de SDRC. Le premier est défini par l'IASP comme un « *Syndrome douloureux se développant localement après un événement nociceptif, de façon disproportionnée par rapport à l'événement initial et ne restant pas limité au territoire de projection d'un nerf périphérique* ». Le deuxième type diffère par l'existence d'une lésion nerveuse (11).

- **Evolution**

Il est très difficile de mettre en évidence un nombre de stades précis et de classer les symptômes car l'évolution de la maladie est imprévisible et les manifestations cliniques dépendent de chaque patient.

On divise classiquement le SDRC en trois stades :

- stade 1 ou phase chaude. Il est caractérisé par l'apparition de douleurs spontanées, sévères, limitées au site lésionnel (12). La sensibilité tactile augmente (hyperesthésie), un œdème localisé et une peau chaude, rouge et luisante apparaissent, ce qui se traduit par une limitation de la mobilité.
- stade 2 ou phase froide. La douleur est moins importante localement mais se diffuse aux articulations sus- et sous-jacentes, tout comme l'œdème (12). La peau prend un aspect bleuté, cyanosé et peut être froide. C'est le début de l'amyotrophie.
- stade 3 ou phase de guérison. C'est une phase de diminution des symptômes et de restitution des capacités fonctionnelles. Mais, à contrario, l'atrophie tissulaire peut devenir éventuellement irréversible et la douleur incurable (11).

- **Etiologie**

Les manifestations étiologiques à l'origine de la maladie sont nombreuses, parmi lesquelles on retrouve principalement (11) :

- les traumatismes, même mineurs, une immobilisation plâtrée, un geste chirurgical,
- les affections médicales (infection) et neurologiques, essentiellement centrales.

B. Le diagnostic du SDRC

Le diagnostic du SDRC est essentiellement clinique et se fait par élimination. L'examen clinique ainsi que l'interrogatoire tiennent une place essentielle. Les examens complémentaires para-cliniques (un bilan biologique standard, une radiographie et surtout une scintigraphie osseuse) participent également au diagnostic mais contribuent avant tout à éliminer une autre pathologie (13).

- **Critères diagnostiques**

A l'issue d'une conférence internationale de consensus en 1993, un groupe d'experts a établi des critères diagnostiques cliniques. Ces critères s'avéraient très sensibles (98 %) mais peu spécifiques (36 %). De nouveaux critères diagnostiques, appelés Critères de Budapest, ont été validés en 2010 au niveau international. Le tableau recense tous ces critères, regroupés en quatre chapitres (11).

1. Douleur qui persiste et apparaît disproportionnée avec l'événement initial	
2. Au moins un symptôme dans trois des quatre catégories suivantes	
a. <i>Sensoriel</i> : le patient décrit une douleur qui évoque une hyperpathie et/ou une allodynie	b. <i>Vasomoteur</i> : le patient décrit une asymétrie de température et/ou un changement de couleur et/ou une asymétrie de couleur
c. <i>Sudomoteur/œdème</i> : le patient décrit un œdème et/ou une asymétrie de sudation	d. <i>Moteur/trophique</i> : le patient décrit une raideur et/ou une dysfonction motrice (faiblesse, trémor, dystonie) et/ou un changement trophique (pilosité, ongles, peau)
3. Au moins un signe dans ≥ 2 des catégories suivantes	
a. <i>Sensoriel</i> : confirmation d'une hyperpathie et/ou allodynie	b. <i>Vasomoteur</i> : confirmation d'une asymétrie de température et/ou changement de couleur et/ou asymétrie de couleur
c. <i>Sudomoteur/œdème</i> : confirmation d'un œdème et/ou asymétrie de sudation	d. <i>Moteur/trophique</i> : confirmation d'une raideur et/ou dysfonction motrice (faiblesse, trémor, dystonie) et/ou changement trophique (pilosité, ongles, peau)
4. Il n'existe pas d'autre diagnostic qui explique de manière plus convaincante les symptômes et les signes cliniques	
Commentaires : <ul style="list-style-type: none"> • les critères 1 et 4 doivent toujours être remplis. Le respect du quatrième critère explique pourquoi l'imagerie garde une place dans le processus diagnostique. • les critères cliniques font la part belle à la sensibilité (sensibilité: 0,85/spécificité: 0,69). • il existe également une application «recherche» de ces critères. Au moins un symptôme doit être présent dans les quatre catégories a-d. Pas de critère supplémentaire nécessaire pour les signes cliniques (sensibilité: 0,70/spécificité: 0,96). 	

- **Examens complémentaires**

Un examen complémentaire, seul, ne peut pas poser le diagnostic du SDRC. Ils n'interviennent que dans la confirmation du diagnostic et dans l'élimination d'autres pathologies potentielles. Ci-dessous sont présentés les principaux examens réalisés.

La radiographie

Les signes radiologiques sont d'apparition tardive. En effet, les radiographies standards sont pour 40% d'entre elles normales jusqu'à huit semaines (14). Ensuite, on observe une ostéoporose pommelée et une déminéralisation homogène. Les clichés doivent être bilatéraux, comparatifs et doivent intéresser les articulations sus- et sous-jacentes.

La scintigraphie

C'est l'examen complémentaire de référence. Elle est plus sensible que la radiographie et le scanner et les signes sont plus précoces. En effet, on observe une hyperfixation (**Annexe V**) au temps précoce (vasculaire), en début d'évolution, et au temps tardif (osseux) de façon plus prolongée (11).

L'hyperfixation concerne aussi les articulations sus- et sous-jacentes, là où la radiographie et le scanner ne montrent aucun signe clinique.

Il existe aussi des formes particulières normo- ou hypo-fixiantes, retrouvées notamment chez l'enfant.

- **Les signes cliniques**

Comme vu précédemment, l'association de perturbations des systèmes nerveux périphérique, central et sympathique sont à l'origine d'une symptomatologie importante dans le nombre et la diversité des signes cliniques, regroupant des troubles moteurs, sensitifs, dysautonomiques et trophiques.

Le système nerveux sympathique

L'excès de nociception stimule le système nerveux sympathique (**Annexe VI**). On constate une augmentation du tonus sympathique, se manifestant par :

- des modifications du flux artériolaire,
- des troubles du tonus vasomoteur avec modifications de température cutanée,
- une sudation dans les zones affectées,
- un œdème.

L'ensemble a pour conséquence une stase circulatoire, une hyperpression et une perméabilité capillaire.

Par ailleurs, la souffrance tissulaire, concomitante à ces manifestations cliniques, avec acidose et augmentation de la kaliémie (concentration en potassium dans le plasma sanguin), constitue un stimulus nociceptif à part entière, participant à l'entretien du cercle vicieux.

L'ensemble des tissus mous va être le premier touché par ces modifications pathologiques. Le tissu osseux va également être touché par cette acidose locale, qui est responsable de nombreux foyers de nécroses médullaires et trabéculaires, retrouvés en radiologie sous l'aspect de déminéralisation et une hyperfixation à la scintigraphie.

Au niveau fonctionnel, la conséquence sera une limitation des mouvements, associée à des difficultés à la mobilisation tant passive qu'active.

Les systèmes nerveux périphérique et central

Les troubles sensitifs rencontrés sont nombreux. L'hypoesthésie, l'allodynie et l'hyperalgésie sont directement liées à des perturbations de seuils nociceptifs et à des phénomènes de sensibilisation.

De plus, les patients peuvent également avoir une modification de la perception de l'image corporelle. Ce symptôme peut s'expliquer par la diminution des informations sensitives autres que la douleur, et un dysfonctionnement de l'intégration corticale, dû à la réorganisation cérébrale précédemment évoquée.

De même qu'au niveau sensitif, les symptômes moteurs des patients atteints de SDRC sont riches en nombre et en diversité : diminution de la force musculaire, tremblements de repos ou d'action, troubles dystoniques, etc.

C. Les formes cliniques

- **Généralités**

Il existe différentes formes de SDRC. On retrouve dans la littérature des formes soit récidivante (reprise trop précoce d'une activité), migratrice, extensive (syndrome épaule-main), ou de la femme enceinte (15).

Il existe également la forme pédiatrique qui nous intéresse plus particulièrement et que nous allons détailler.

- **La forme pédiatrique du SDRC**

Il existe peu de différences entre la forme pédiatrique du SRDC et celle de l'adulte. Elle possède néanmoins quelques spécificités, notamment un terrain psychologique prédisposant et l'enchaînement, à l'inverse de l'adulte, d'une phase dite froide puis chaude.

Les syndromes douloureux régionaux complexes de type 2 sont nettement plus rares chez l'enfant et ne montrent pas de disparité entre les sexes.

D'emblée, il se manifeste le plus souvent sous la forme 'froide', symbolisée par un membre froid, cyanosé, associé à une douleur, un œdème diffus et un enraidissement articulaire important (16) même si celui-ci est difficile à évaluer du fait de l'appréhension du patient.

Les formes traumatiques sont les plus fréquentes, avec pour pathologie la plus décrite l'entorse latérale de la cheville, sans notion de degré de gravité, le traumatisme étant insignifiant dans 80% des cas (15). L'atteinte est prédominante aux extrémités des membres, plus particulièrement inférieurs. En effet, 57 à 85% des SDRC de l'enfant sont diagnostiqués sur les jambes, dont 71% au niveau du pied et de la cheville (17). Le membre supérieur peut également être touché, mais ces atteintes sont plus rares. Les formes froides sont les plus retrouvées, et le genre féminin est le plus représenté (65%).

L'examen clinique peut être pauvre rendant le diagnostic d'autant plus difficile. Or, des études ont montré l'existence d'un retard au diagnostic de 13,6 semaines - voire un retard à la première consultation de 4,46 semaines - et d'orientation vers une structure multidisciplinaire douleur de 24,51 semaines (15). Lorsqu'un diagnostic précoce est détecté chez l'enfant (< 3 mois d'évolution), la résolution des symptômes est plus rapide (10,6 au lieu de 21,5 semaines). L'examen radiographique sera normal dans 67% des cas, tout au long de l'évolution de la maladie et il sera observé à la scintigraphie une hypofixation franche avec extinction des cartilages de conjugaison dans 60% des cas (16).

Il est important d'éliminer les diagnostics d'ischémie aiguë et de fractures de fatigue.

L'apparition des premiers symptômes se fait le plus souvent entre 8 et 15 ans, l'âge moyen des enfants étant touchés d'un SDRC de type 1 étant de 11,4 ans (15).

On retrouve un important contexte psychologique dans la prise en charge de cette pathologie (13).

En effet, l'interrogatoire poussé avec des enfants permet souvent de mettre en évidence des facteurs tels que :

- un surinvestissement dans le domaine scolaire, sportif ou familial,
- des prédispositions psychologiques (anxieux, troubles psychologiques),
- un environnement surprotecteur.

Ainsi, la relation thérapeute/patient doit s'inscrire dans un cadre de soin bien défini, avec des objectifs de rééducation clairs. L'empathie, c'est-à-dire la capacité à se mettre à la place du jeune patient, est la base de la relation avec l'enfant, tout en gardant une distance nécessaire à la réalisation des actes. Il s'agit d'un dialogue corporel dans lequel le thérapeute s'engage.

D. Le traitement du SDRC

Le traitement du SDRC repose avant tout sur une approche multidisciplinaire, avec un investissement et une collaboration de l'ensemble des acteurs de santé autour du malade.

Il n'existe pas de consensus ni de protocole dans la prise en charge du SDRC. La règle de la non douleur doit être respectée. La prise en charge doit être précoce et nécessite une réévaluation régulière pour avoir un traitement adapté à chaque phase du SDRC.

Le traitement est essentiellement symptomatique et va dépendre de l'intensité douloureuse décrite par le patient ainsi que du tableau clinique identifié lors du diagnostic de la pathologie.

La prise en charge du SDRC associe un traitement médicamenteux, des séances de kinésithérapie et de psychothérapie (18). L'aspect psychologique de la thérapeutique doit être pris en compte. Les techniques cognitivo-comportementales ainsi que les explications de la maladie, la réassurance, l'encouragement et une participation active aux soins sont indispensables

Concernant l'enfant, le traitement du SDRC sera exposé plus en détail dans la partie 'Revue de littérature'.

IV. La réalité virtuelle

A. Introduction à la réalité virtuelle

- **Définition**

En 2006, Fuchs a défini la réalité virtuelle comme étant «une simulation informatique interactive immersive, visuelle, sonore et/ou haptique, d'environnements réels ou imaginaires, permettant à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel» (19).

Pour qu'il y ait réalité virtuelle, il faut que la personne perçoive et agisse physiquement au sein d'un environnement virtuel. Cela implique évidemment une activité cognitive. L'activité sensori-motrice dans la réalité virtuelle s'appuie sur deux notions : l'immersion et l'interaction (19).

On retrouve aussi dans cette définition la possible diversité des origines des environnements virtuels, tranchant avec la vision réductrice de la réalité virtuelle présentée comme une "simple copie" du monde "réel".

La réalité virtuelle peut être pratiquée selon deux formes :

- la réalité virtuelle immersive (intrusion totale du patient dans l'espace 3D) ;
- la réalité virtuelle non immersive (contrôle de geste à travers une interface : crayon, souris, gant, etc.).

La réalité virtuelle permet ainsi de s'extraire de la réalité physique et de changer virtuellement de temps, de lieu, et/ou de type d'interaction avec le monde simulé.

- **La réalité virtuelle en rééducation**

La réalité virtuelle appliquée au domaine de la rééducation consiste à définir une interface de communication avec les informations sensorielles comme voies d'entrée (essentiellement visuelles, parfois renforcées par des informations somesthésiques) et les actions motrices comme mode d'interaction.

La tâche demandée se fait selon des conditions standardisées, contrôlables, avec un enregistrement des indicateurs. Il est aisé de contrôler les variables du mouvement (amplitudes, vitesse, durée).

On propose alors à un patient une activité avec un objectif à atteindre. Le résultat est visualisé en temps réel, ce qui favorise la motivation du patient et inclue la mobilisation de ressources émotionnelles et attentionnelles. Il a également la possibilité de se corriger et d'observer les effets de sa correction.

Pour conclure, la réalité virtuelle permet, tout en réduisant les risques extérieurs, de réaliser des répétitions multiples et standardisées, avec des niveaux de difficulté progressifs.

B. Perception, immersion et interaction

- **Perception**

Selon une conception classique, la perception est considérée comme le traitement passif des stimulations sensorielles. Grâce aux avancées dans le domaine des théories sensorimotrices (Havelange et al., 2002), la perception est désormais considérée comme un processus actif, entre les actions réalisées et les stimulations sensorielles résultantes (20).

L'environnement virtuel ne sera plus considéré comme une illusion des sens (traitement passif) mais comme l'appropriation active de nouvelles modalités techniques, entraînant des impacts directs sur le degré d'immersion du sujet et indirect sur l'interaction dans l'environnement virtuel.

- **Immersion et présence**

La réalité virtuelle est considérée comme un espace distant, défini comme «*l'illusion d'être dans un emplacement physique autre, mais où l'on peut agir de façon synchrone à l'espace où l'on se trouve*» (Biocca et Delaney, 1995 ; Minsky, 1980) (19) .

L'immersion au sein de cet espace distant va dépendre de trois paramètres :

- la maîtrise des nouvelles activités sensorimotrices → immersion sensorimotrice
- le niveau de présence dans l'espace perceptif distant → immersion cognitive
- la réalisation d'actions cohérentes avec l'environnement virtuel → immersion fonctionnelle.

Le niveau de présence au sein d'un environnement virtuel est directement corrélé au nombre de modalités sensorielles impliquées dans l'environnement (21). Ainsi, la mise en jeu de plusieurs modalités sensorielles est une des clefs de la réussite de la réalité virtuelle. Les sens impliqués dans l'environnement virtuel ne le seront plus dans le monde physique. A l'inverse, ceux toujours présents dans le monde réel peuvent être source de conflits.

- **Interaction**

L'interaction avec un monde virtuel modifie les modes de couplage sensorimoteurs entre l'être humain et le nouvel environnement.

L'intégration des informations sensorielles et les conséquences motrices sont différentes du monde "réel". Ce nouveau dispositif technique ouvre un espace perceptif nouveau, où les sensations et les actions sont propres à ce lieu fictif (19).

Exemple : quand on utilise une paire de jumelles, on a l'impression de se trouver dans un espace perceptif distant.

Cela entraîne une modification de notre corps propre, c'est-à-dire notre corps comme possibilité d'agir et de sentir.

L'interaction avec un environnement imaginaire permet de maintenir un côté ludique, aussi bien dans le domaine de la réhabilitation motrice qu'en psychiatrie où les patients sont confrontés à un stimulus phobogène.

C. Applications

- **Psychothérapie**

Principe des thérapies d'exposition

La réalité virtuelle va permettre d'exposer le patient à des situations anxiogènes fictives, phénomène compliqué à réaliser en rééducation traditionnelle des troubles anxieux.

Cette exposition doit se faire dans un environnement sécurisé et contrôlé. Elle doit être progressive, prolongée et complète. Elle se réalise dans le cabinet du thérapeute ce qui préserve l'intimité du patient (North et al.,1998) (22).

Pour que cette exposition soit efficace, trois conditions doivent être réunies :

- les stimuli doivent éveiller des émotions,
- les compétences acquises doivent être applicables aux situations de la vie quotidienne,
- les sujets doivent pouvoir naviguer et interagir dans les environnements virtuels.

Pathologies abordées

Les phobies représentent un axe de thérapie idéale en réalité virtuelle : acrophobie (peur des hauteurs), aérophobie (crainte du grand air), phobie sociale, agoraphobie, etc.

Les troubles des conduites alimentaires (anorexie, boulimie) font également parties des pathologies prises en charge, afin de corriger l'image corporelle des patients (22).

Il est également possible de traiter les troubles sexuels masculins, l'autisme, les addictions, le stress post-traumatique. Les environnements virtuels offrent donc un champ d'action très diversifié.

- **Neuropsychologie**

La neuropsychologie correspond à l'étude des fonctions mentales supérieures dans leur rapport avec les structures cérébrales (Hecaen et al., 1983) (23). Les recherches dans le domaine de la neuropsychologie se sont essentiellement intéressées à la création de conditions d'évaluation et de rééducation écologiques et standardisées.

Les patients concernés par la réhabilitation neuropsychologique en réalité virtuelle souffrent de lésions cérébrales, de pathologies neurodégénératives ou de troubles du développement.

Les processus attentionnels

La réalité virtuelle a permis d'évaluer les déficits attentionnels d'enfants hyperactifs dans une classe virtuelle (Rizzo et al., 2002 et 2004). L'enfant était immergé dans une salle de classe virtuelle où des éléments perturbateurs venaient détourner son attention de la tâche à accomplir.

De plus, des environnements virtuels ont également été créés dans le domaine de la rééducation de l'héminégligence visuelle chez des patients ayant subi un accident vasculaire cérébral. Il était possible de suivre le regard du sujet (Kodgi et al., 1999), ou d'ancrer l'attention sur la région spatiale négligée (Myers et al., 2000, Wann et al., 1997) (23).

Les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont des processus cognitifs permettant l'adaptation à des situations inconnues. Elles regroupent l'élaboration de stratégies, la flexibilité mentale, la planification et l'inhibition dans la formulation d'une action et l'anticipation.

Des environnements virtuels similaires à des situations de la vie quotidienne ont été mis en place comme outil d'évaluation des fonctions exécutives : un magasin de fruits virtuel (Priore e.a., 2003), un appartement (Zalla e.a., 2001), des supermarchés (Klinger e.a., 2004a, Lee e.a., 2003a, Marié e.a., 2003) (22).

La réhabilitation cognitive

On peut définir la réhabilitation cognitive comme « *le processus thérapeutique d'accroissement ou d'amélioration de la capacité d'un individu à traiter et utiliser l'information entrante de façon à permettre un fonctionnement augmenté dans la vie de tous les jours* » (Sohlberg et Mateer, 1989) (23).

En environnement virtuel, la rééducation de l'ensemble des processus cognitifs, comme l'attention, la mémoire ou la résolution de problèmes est possible.

Parmi les études menées se retrouvent la restauration de la mémoire par l'entraînement à des tâches répétitives (Stanton et al., 1998 ; Foreman et al., 2003), la réorganisation de la mémoire en utilisant les systèmes intacts pour aider ou remplacer les fonctions altérées (Glisky et al., 1986 ; Glisky et Schacter, 1988 ; Brooks et al., 1999), l'apprentissage procédural (Rose et al., 1999), la réhabilitation de la mémoire par l'exercice physique (Grealy et al., 1999), la réhabilitation dans les activités de la vie quotidienne à partir de cités virtuelles (Brown et al., 1998a), etc (23).

- **Autres applications de la réalité virtuelle**

La réalité virtuelle permet la formation et/ou l'entraînement par simulateur : conduite de véhicules (pilote d'avion, conducteur de train), aérospatiale.

Elle est également utilisée pour la reconstitution et/ou la conservation de patrimoines culturels. Par exemple, le Centre Européen de Réalité Virtuelle (CERV) de Brest est en train de reproduire le pont National qui reliait les deux rives de Brest jusqu'en 1944.

D. Avantages et limites de la réalité virtuelle en rééducation

- **Avantages**

Pour les troubles en psychiatrie, la réalité virtuelle permet de générer des environnements comprenant des situations anxiogènes sans risque pour le patient, en contrôlant toutes les modalités de l'exposition et à moindre coût.

En neuropsychologie, les avantages sont également importants :

- exploration de la plupart des aptitudes cognitives (fonctions exécutives, attention, mémoire, etc),
- recueil des données du patient (précision, cohérence) et enregistrement permettant une analyse détaillée,
- exposition à des stimuli variés et interactifs, à des éléments perturbateurs contrôlés,
- production de signaux d'aide ou feedback,
- augmentation de la motivation.

Auparavant coûteux, les dispositifs techniques se composent aujourd'hui d'un ordinateur et d'un capteur de mouvement.

Enfin, il est possible d'adapter les interfaces et d'agir sur plusieurs modalités sensorielles avec une immersion plus ou moins importante : dispositifs visuels, commande vocale, dispositifs haptiques, plateformes dynamiques, ...

- **Limites de la réalité virtuelle en rééducation**

De nos jours, même si c'est un domaine en plein expansion, les dispositifs de réalité virtuelle transposables dans le milieu médical sont peu nombreux. Ils sont encombrants et nécessitent un espace de travail important. Les paramétrages de configuration peuvent être complexes. Les applications médicales sont peu connues des différents acteurs impliqués dans le projet thérapeutique du patient. Les praticiens manquent de formation dans ce domaine.

Il est possible pour les patient de ressentir ce qui a été appelé les cybermalaises. Ils se produisent selon les mêmes mécanismes et avec les mêmes symptômes que le cinétose ou mal des transports. L'immersion dans un environnement virtuel entraîne une interaction avec un espace perceptif nouveau. Les informations visuelles sont incohérentes avec les influx vestibulaires. Un état de mal-être est alors ressentie, avec comme possibles symptômes un étourdissement, des nausées pouvant aller jusqu'aux vomissements, une fatigue subjective.

De plus, les environnements virtuels sont généralement destinés à quelques exercices spécifiques pour soigner une pathologie particulière. Réservés pour le moment à un usage expérimental, une généralisation de leur utilisation à un plus grand nombre de patients n'est pas encore d'actualité.

Enfin, la pratique de rééducation en réalité virtuelle dépend des capacités motrices du patient (24). L'interaction avec l'environnement nécessite une récupération partielle effective et une capacité d'intégration d'informations sensorielles complexes. Cette technique ne s'adresse pas à des patients avec un déficit moteur sévère.

V. Revue de littérature

A. Objectifs

L'objectif de cette revue de littérature est de déterminer si la réalité virtuelle a un intérêt dans l'analgésie de l'enfant atteint de SDRC. Pour cela, la première partie fait état des études traitant de la réorganisation corticale survenant dans le SDRC. Puis, les publications relatives au traitement du SDRC ont été analysées. Les objectifs sont, d'une part, de savoir s'il est efficace sur les symptômes inhérents à la pathologie et, d'autre part, si des thérapeutiques existent pour la prise en charge de la réorganisation corticale, à l'origine de nombreux symptômes. Enfin, la dernière partie fait état de la littérature concernant la réalité virtuelle, et a pour buts de déterminer s'il est possible de transférer les apprentissages réalisés dans l'environnement virtuel au monde 'réel', si elle a un effet antalgique pendant l'immersion virtuelle et si cet effet est transposable en dehors des séances.

B. Méthodologie

• **Les mots clés**

Afin de sélectionner les articles les plus pertinents sur ce thème précis, plusieurs mots clés sont utilisés pour interroger les bases de données.

Aucune base de données ne traite directement du thème abordé. Il a donc fallu élargir le champ de recherches en utilisant des mots clés plus génériques.

L'inscription à l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) nous donne accès à UBODOC, une plateforme Internet permettant de consulter les documents des bibliothèques universitaires et certaines bases de données, comme Medline via PubMed et EM Premium.

Les bases de données françaises questionnées sont EM Premium et Kinédoc. Les mots clés utilisés sont les suivants : traitement, syndrome douloureux régional complexe (SDRC), enfant, adolescent, réalité virtuelle, prise en charge de la douleur.

Les bases de données internationales consultées sont Medline via PubMed, PEDro et ScienceDirect, avec ces mots clés : Complex Regional Pain Syndrom (CRPS), virtual reality, pain management, children, child, treatment.

Ces mots-clés ont d'abord été recherchés en association à l'aide d'opérateurs booléens : réalité virtuelle et enfant, SDRC et enfant, prise en charge de la douleur de l'enfant, etc. Quand les résultats n'étaient pas concluants, chaque mot a été employé de manière propre avec pour conséquences des données moins spécifiques.

• **Critères d'inclusion et d'exclusion**

Le principal critère d'inclusion est la correspondance du thème de l'article aux mots clés recherchés.

La réalité virtuelle s'adresse à plusieurs professions différentes : informaticiens, ingénieurs, médecins, personnels paramédicaux, etc. Un deuxième critère d'inclusion est la finalité de l'étude : à qui est-elle destinée ? Seuls les articles et revues destinés à des professionnels médicaux et paramédicaux ont été retenus.

Le premier critère d'exclusion est, malheureusement, la langue, même si cela peut biaiser l'analyse de la littérature. Les bases de données interrogées et les publications retenues sont toutes en langues française ou anglaise, dans un souci de compréhension du texte.

Ensuite, la date de parution de l'article est également un critère d'exclusion. Au début des recherches, seuls les articles publiés à partir de 2005 étaient retenus. Puis, au vu du manque d'études dans les différents domaines, les bases de données ont été interrogées des années 1995 à 2015. Les articles publiés entre 1995 et 2005 étaient conservés mais d'emblée avec un regard critique. En effet, la compréhension physiopathologique actuelle du SDRC et la prise en charge

qui en découle sont contradictoires avec les connaissances antérieures, où seul le système nerveux sympathique était incriminé dans l'origine de la maladie.

Dans le même ordre d'idée, l'ancienne terminologie du SDRC « algoneurodystrophie / algodystrophie / reflex sympathetic dystrophy » n'a pas été utilisée car elle fait référence à des textes anciens.

De plus, les bases de données ont été questionnées dans la période d'avril 2015 à février 2016. Tout article n'étant pas référencé dans la littérature de cette période n'a pas été pris en compte, ce qui représente un critère d'exclusion.

- **Analyse de la littérature**

Afin de déterminer la pertinence des publications consultées, des grilles de lecture pour l'analyse d'une revue de synthèse et d'un article thérapeutique ont été utilisés (**Annexe VII**) (25).

C. Réorganisation corticale dans le SDRC

Plus hypothétiques que fondés sur des preuves expérimentales, les mécanismes d'apparition de la douleur sont des phénomènes controversés.

Cependant, les manifestations cliniques, les données neurophysiologiques et l'IRMf (Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle) ont permis de mettre en évidence les modifications du système nerveux central et notamment la réorganisation corticale, tant au niveau des aires motrices que sensitives.

- **Réorganisation du cortex sensitif**

Chez l'adulte

La réorganisation corticale a pu être confirmée grâce à la magnéto-encéphalographie. Il a été constaté chez douze sujets atteints de SDRC I du membre supérieur (26) :

- une diminution de la taille de S1 (cf remarque)
- un déplacement vers la zone adjacente de la zone de projection corticale sur S1 de la région lésée.

De même, une étude (27) de Pleger de 2005 (26) a mis en évidence les conséquences cérébrales d'une stimulation électrique non douloureuse de l'index du côté atteint sur six patients souffrant de SDRC I du membre supérieur. L'IRMf a montré une réduction de la représentation corticale de la région atteinte sur les zones S1 et S2. Ces réorganisations sensitives sont réversibles par le traitement du SDRC.

Remarque : le cortex somatosensoriel est divisé en sous aires : S1 représente l'aire somatosensorielle primaire.

Chez l'enfant

Lebel (28) a évalué, en 2008, la possible réorganisation cérébrale créée par l'apparition d'un SDRC. L'étude comprenait 12 enfants, âgés de 9 à 18 ans, présentant un syndrome douloureux régional complexe du membre inférieur. Il était observé, à l'IRMf, les réactions cérébrales suite à des stimulations nociceptives (mécaniques et thermiques) des extrémités saine et atteinte. Chaque patient a subi deux enregistrements à l'IRMf : un au cours de la période douloureuse et un après la stimulation.

Il a été retrouvé les mêmes activations cérébrales que celles rapportées chez l'adulte.

- **Réorganisation du cortex moteur**

La diminution de la force musculaire pourrait s'expliquer par une sous-utilisation des muscles de la région atteinte, concomitante à l'intensité douloureuse, mais les relevés électromyographiques sont normaux, excepté pour des stades très avancés.

Les tremblements et dystonies pourraient, eux, être dus à des modifications des réflexes spinaux. Cependant, plusieurs études, réalisées chez l'adulte, tendent à montrer le caractère central de l'origine de ces troubles moteurs.

Chez l'adulte

Maihöfner a réalisé une étude (29) comparant des patients souffrant de SDRC du membre supérieur à des sujets sains. Ils leur étaient demandés une tâche de pointage et de préhension de cible. Les résultats étaient mesurés à l'aide d'une analyse cinématique couplée à une IRMf.

Les sujets pathologiques ont, comparativement aux témoins :

- un prolongement de la phase d'approche,
- une augmentation de l'activation des aires motrices et motrice supplémentaire du côté controlatéral à la lésion,
- une activation du cortex moteur ipsilatéral à la lésion.

Mc Cabe (30) remarque une négligence motrice chez les sujets atteints de SDRC. Elle serait d'origine attentionnelle, du fait du manque de feedback proprioceptif influençant l'élaboration des commandes motrices.

D. Traitement actuel du SDRC en pédiatrie

Peu d'études ont été réalisées dans la prise en charge du SDRC de l'enfant et l'adolescent. Nous allons déterminer, par cette revue de littérature, l'ensemble des traitements proposés aux patients mineurs atteints de SDRC puis nous analyserons plus en détail les quelques études réalisées en milieu pédiatrique. Pour finir, nous verrons l'intérêt de certaines thérapeutiques utilisées chez l'adulte et non encore étudiées chez l'enfant.

• **Traitements médicamenteux**

Les antalgiques

Au début de traitement, les antalgiques utilisés de manière conventionnelle sont ceux de paliers I et II selon la classification de l'OMS (31). Ils sont efficaces sur les douleurs par excès de nociception survenant sur un système nerveux intact mais ils ont quand même leur place dans le traitement du SDRC, notamment le tramadol qui a une action démontrée dans les douleurs neuropathiques. Le tramadol est bien adapté aux douleurs mixtes de l'enfant

L'administration d'opioïdes doit rester exceptionnelle car ils ne sont efficaces qu'à des doses élevées et entraînent des effets indésirables importants.

Les antidépresseurs tricycliques et antiépileptiques participent à la prise en charge des douleurs à caractère neuropathique. L'amitriptyline est recommandée dans la prise en charge de la douleur neuropathique comme molécule de première ligne chez l'enfant

L'antiépileptique utilisé est la gabapentine, efficace sur les douleurs de fond et paroxystiques. Elle est également recommandée pour le traitement de la douleur neuropathique de l'enfant. Les effets indésirables (sommolence, vertige, fatigue, fragilité de l'humeur) sont à prendre en compte.

Il est nécessaire d'expliquer à l'enfant et aux parents que ces médicaments sont administrés dans le but de soulager les douleurs.

L'usage d'antidépresseurs et d'antiépileptiques a été retrouvé dans une étude réalisée par Low en 2007 (14). 20 enfants présentant le diagnostic de SDRC ont été suivis pendant quatre ans. Les techniques de prise en charge comprenaient de la physiothérapie intensive et une prise en charge psychologique 70% des enfants avaient recours à un traitement médicamenteux (amitriptyline et/ou gabapentine). Un grand pourcentage d'enfants a eu une résolution complète

des symptômes sur une durée de 15,4 semaines en moyenne (intervalle entre trois jours à 64 semaines) mais 40% d'entre eux nécessitaient un traitement en hospitalisation et 20% avaient un épisode de rechute.

Techniques invasives

Ces techniques consistent en une anesthésie locorégionale via un bloc nerveux périphérique, qui permet de prendre en charge plus particulièrement la douleur chronique. Elles sont proposées dans le traitement des formes réfractaires de SDRC en cas d'échec des thérapeutiques non invasives, surtout quand la douleur est essentiellement à caractère neuropathique.

Une étude de Dadure (32) réalisée en 2005 comprenait 13 enfants, quatre garçons et neuf filles, atteints de SDRC de type 1 des membres supérieur ou inférieur. L'âge médian était de 13 ans. Tous n'avaient pas répondu favorablement à une thérapie de six mois comprenant un traitement médicamenteux, des séances de kinésithérapie et de techniques cognitivo-comportementales. Ils sont opérés sous anesthésie générale et un bloc nerveux périphérique (lidocaïne) associé à un bloc intraveineux (lidocaïne, buflomedil) sont posés. Le bloc est maintenu 96 heures.

La douleur postopératoire a été évaluée dans le service de chirurgie aux heures 1, 6, 12 et 24 et au domicile aux heures 48, 72 et 96 à l'aide de l'échelle visuelle analogique (EVA).

Si les enfants ressentaient une douleur supérieure à 3 sur l'EVA en postopératoire, une injection intraveineuse de nalbuphine (0,2 mg/kg) et le recours à de la codéine au domicile étaient administrés comme analgésie de secours.

Les exercices de kinésithérapie étaient réalisés au cours des heures 1, 6, 12 et 24 après la pose du bloc nerveux périphérique. Ils consistaient en des flexion/extension du coude pour un patient et des flexions dorsale/plantaire de la cheville pour les 12 autres sujets.

Si aucune complication n'est constatée, l'enfant rentre chez lui 24 heures après l'opération.

Les effets indésirables sont notés. Une visite de suivi était réalisée deux mois après la pose du bloc.

Aucun échec au bloc opératoire n'a été constaté. L'analgésie postopératoire était excellente, le score de la douleur étant de 0 pour chaque période étudiée. La douleur pendant les séances de kinésithérapie a été rapportée en annexe (**Annexe VIII**).

Un patient a nécessité l'emploi de l'analgésie de secours.

Les parents et les enfants étaient tous très satisfaits de l'analgésie apportée par le bloc nerveux périphérique au repos et pendant les séances de kinésithérapie. Aucun signe indésirable n'a été rapporté et après deux mois, il n'y avait pas de récurrence du SDRC.

- **Traitements non pharmacologiques**

La rééducation

Elle sera entreprise lorsque les phénomènes douloureux ont été pris en charge. Elle est douce, progressive et surtout indolore.

Les techniques conventionnelles comprennent la mobilisation articulaire prudente, (passive ou active aidée et graduelle), le massage, la mise en décharge du membre atteint, bains écossais/alternatifs, lutte contre œdème par drainage postural et massage doux et balnéothérapie (33).

On peut également proposer au patient des automassages afin qu'il se réapproprié la partie du membre lésée. L'immobilisation totale et la mobilisation passive douloureuse sont proscrites.

La neurostimulation transcutanée, plus connue sous l'abréviation anglaise TENS (trans-electrical neurostimulation), peut être utile en association avec les autres thérapeutiques.

La prise en charge psychologique

Elle est indispensable. Même si aucune étude ne prouve l'existence d'un terrain psychologique prédisposant avéré dans l'apparition de la maladie, il semble tout de même important de prendre en compte la dimension psychique et le patient dans sa globalité.

En plus d'un entretien avec une psychologue ou un psychiatre, les techniques d'hypnose et de thérapies cognitivo-comportementales (TCC) ont ainsi été proposées.

Etudes sur l'association des thérapeutiques

Une étude prospective a été réalisée par Sherry et al. en 1999 (34). Elle incluait 103 enfants (87 filles, 16 garçons) ayant 13 ans d'âge moyen. Parmi ces 103 enfants, 49 d'entre eux ont été suivis pendant plus de deux ans. Il leur était proposé un programme intensif d'exercices, comprenant quatre heures d'exercices aérobies quotidiens à visée fonctionnel. Tous les enfants ont eu une évaluation psychologique à l'entrée de l'étude et 79 d'entre eux ont continué à avoir un suivi durant la thérapie. Aucun traitement médicamenteux n'était associé.

Les principaux critères évalués étaient la douleur, l'altération de la mobilité ou de la force musculaire, et les douleurs musculosquelettiques disproportionnées

L'association psychothérapie/kinésithérapie a montré 92% de bons résultats, 85 enfants ne ressentant pas de symptômes. Cependant, un grand pourcentage de récurrence a été constaté, avec un délai médian de 2 mois après l'arrêt du traitement.

Maillard (35) publie, en 2004, une série rétrospective de 23 enfants pris en charge pour SDRC. 18 étaient des filles (78%) et cinq des garçons (22%). L'âge médian de diagnostic de la maladie était de 12,1 ans. Quatre d'entre eux avaient un suivi inférieur à six mois et 19 d'entre eux un suivi supérieur à six mois.

Ils ont été traités uniquement par physiothérapie et prise en charge psychologique.

La guérison complète a été obtenue à trois mois dans 74% des cas. Cependant, certains patients ont présenté des épisodes de récurrence avec guérison ultérieure. Au final, l'étude retrouve 84% de bons résultats chez 19 patients à six mois du début de la prise en charge.

Cette étude a cherché à démontrer l'efficacité des techniques non invasives dans le traitement pédiatrique du SDRC.

- **Traitements du SDRC de l'adulte**

La littérature s'adressant au traitement du SDRC de l'enfant est très pauvre. Il semble donc intéressant d'analyser la littérature concernant le traitement du SDRC de l'adulte (36) pour voir si d'autres types de prise en charge, citées mais pas encore étudiées chez l'enfant, ont un intérêt.

La prévention

La notion de prévention est de plus en plus abordée dans la littérature de traitement du SDRC.

La prise en charge précoce et adaptée de la douleur suite à un traumatisme est un élément primordial dans le non survenu de la pathologie et il semble intéressant de proposer une bonne analgésie pour une rééducation de meilleure qualité.

Thérapies nouvelles : la thérapie en miroir

Elle a d'abord été décrite pour soulager les douleurs de membre fantôme (alloghallucinoze) après amputation.

Les similitudes entre les deux pathologies, comme la réorganisation corticale, la disparition du contrôle inhibiteur exercé par le cortex moteur sur les voies de la douleur, sont importantes. Elles nous permettent d'inclure la thérapie miroir comme possible dispositif thérapeutique dans le traitement du SDRC.

Mc Cabe (37) s'est servi de la thérapie miroir chez huit patients souffrant de SDRC I du membre inférieur, avec une évolution comprise entre trois semaines et trois ans. Voici les résultats qu'il a obtenus :

- chez trois sujets, une importante réduction de la douleur directement après la séance et, à la fin des six semaines de thérapie, l'absence de douleurs et de troubles vaso-moteurs et une récupération fonctionnelle totale,
- chez deux sujets, une disparition des douleurs et une régression des troubles trophiques dans un cas ainsi qu'une meilleure fonction dans les deux cas,
- enfin, trois sujets n'ont eu aucune amélioration des symptômes.

Moseley (38) (39) a réalisé chez 50 sujets atteints de douleur chronique une étude randomisée afin de comparer la thérapie miroir au traitement conventionnel seul. La population de l'étude comprenait :

- 36 patients avec un SDRC du membre supérieur
- cinq sujets atteints de douleurs chroniques suites à des lésions du plexus brachial
- neuf amputés souffrant d'algothallucinoïse.

Les résultats dans le groupe traité via la thérapie en miroir sont probants : réduction des douleurs (32,1 mm dans le groupe traité contre 11,6 mm dans le groupe contrôle ; $p < 0,001$), amélioration de la fonction (+3.7 points dans le groupe traité vs 1.5 dans le groupe contrôle : $p < 0,001$). Une nuance nécessite d'être apportée : il est compliqué de définir les bénéfices acquis par la thérapie en miroir seul, car les deux autres composantes du traitement, à savoir reconnaissance de la latéralité et imagerie motrice, peuvent aussi avoir un rôle dans la prise en charge de la douleur.

E. La réalité virtuelle

• **Transfert des compétences**

La problématique du transfert d'un environnement virtuel au monde réel est fondamentale et dans cette question réside tout l'intérêt, ou non, de ce nouveau dispositif technique. En effet, l'acquisition de nouvelles compétences au sein d'un environnement virtuel doit être transposable à un autre contexte que celui de la réalité virtuelle pour être utile dans la rééducation d'une pathologie.

Ces notions de transposition, de transfert, de transmission, ne doivent pas être considérées comme une simple extension de l'apprentissage, une « façon de penser, de percevoir et de traiter l'information » (Haskell, 2001) mais comme un traitement cognitif complexe (Haskell, 2001 ; Tardif, 1999) (40).

Plusieurs études se sont attachées à résoudre cette problématique. En voici les principales.

Les effets au niveau cérébral

Une étude, publiée chez Elsevier Masson en 2015 (41), avait pour but d'observer chez le sujet sain l'activation cérébrale obtenue par l'étude d'une main en mouvement, qu'elle soit virtuelle ou réelle. Onze sujets d'âge moyen = 27 ans placés dans une IRM observaient les déplacements du poignet réalisés soit par des mains d'autrui réelles soit par des mains virtuelles.

Les résultats ont montré que l'observation d'une main virtuelle, comme celle d'une main réelle, est responsable d'une activation bilatérale des aires visuelles, du cortex pré moteur dorsal et ventral, du lobe pariétal inférieur et de l'aire extra striée corporelle.

En conclusion, le mouvement d'une main virtuelle, même avec un faible degré d'immersion, est reconnu comme le déplacement d'une partie de soi. La réalité virtuelle a donc un véritable impact.

Résultats attestant de la possibilité de transférer les compétences développées en RV au monde réel

Todorov a publié, en 1999 (42), une étude pour évaluer la capacité de transfert d'un monde virtuel à la réalité. Les patients devaient déplacer un anneau métallique à travers un fil courbe.

Trois groupes de sujets étaient constitués : un groupe avec entraînement en réalité virtuelle, un groupe avec entraînement dans le monde réel et un groupe non entraîné.

Ensuite, les groupes étaient évalués sur une tâche réelle. Les résultats montrent que les deux groupes entraînés ont été plus efficaces ($p < 0,001$) que le groupe non entraîné. Cette étude prouve qu'il est possible de remplacer un exercice par son équivalent virtuel.

Cette étude atteste de la possibilité d'un transfert de compétences pour des tâches simples. On peut se demander si les résultats seraient similaires lors de réalisation de tâches complexes.

Une expérience a été réalisée au Centre Européen de Réalité Virtuelle (CERV) de Brest par Hoarau, Querrec, Le Corre, Fauvel et Buche en 2012 (43) où étaient expérimentés deux types de formations (une traditionnelle et une en environnement virtuel) à une situation contrôle.

Ces chercheurs ont utilisé Virtual Analyser, un environnement virtuel où les participants doivent effectuer des tests sanguins d'analyses médicales. L'expérimentation est menée en deux étapes. Premièrement les participants bénéficiaient d'une formation théorique avec la présentation d'un diaporama sur le principe de l'hémostase, sur les différentes étapes du processus d'analyse et sur le matériel utilisé. Dans un second temps, la formation pratique différait entre groupe traditionnel et groupe en réalité virtuelle : les premiers avaient une démonstration des différentes étapes à effectuer par un apprenant sur un automate d'analyses biologiques réel tandis que les seconds apprenaient via l'environnement virtuel.

Les résultats montrent une durée de réalisation plus courte pour les sujets ayant suivi la formation traditionnelle ($m = 1178$ secondes) par rapport à la formation en environnement virtuel ($m = 1791$ s). Les participants n'ayant suivi aucune formation réalisaient le temps le plus long ($m = 2338$ s).

Résultats montrant que la rééducation motrice dans un environnement virtuel peut être plus performante par rapport à une rééducation classique

Brooks a évalué, en 1999, la capacité d'un patient avec des troubles mnésiques suite à un accident vasculaire cérébral (AVC) à mémoriser un trajet en réalité virtuelle et dans le monde réel (44).

Au bout de deux semaines de thérapie, le patient maîtrisait le trajet entraîné en réalité virtuelle, contrairement à celui réalisé en environnement réel.

Cet apprentissage s'est maintenu dans le temps, sans entraînement supplémentaire. L'auteur suggère que les absences de problème de déambulation et d'éléments de distraction externe (obstacle, bruits, etc) permettent au patient d'avoir une meilleure attention sur la tâche à effectuer.

• **Réalité virtuelle et douleur**

Activité cérébrale liée à la douleur

Il a été possible de mesurer l'activité cérébrale par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), selon deux modalités : avec et sans réalité virtuelle. Les résultats montrent une activité cérébrale liée au traitement de la douleur moins importante et une modulation directe des réponses cérébrales par la distraction dans un environnement virtuel (Hoffman, et al., 2004) (45).

Techniques de distraction chez l'enfant et l'adolescent

On explore ici la capacité de la réalité virtuelle à diminuer l'intensité douloureuse par détournement de l'attention lors de l'immersion dans un environnement virtuel. On s'intéresse donc aux douleurs aiguës pendant la séance ou les soins.

La réalité virtuelle a été testée dans une étude de Wolitzly et al. en 2005 (46) pour déterminer si celle-ci était efficace comme élément 'distayant' dans la prise en charge de la douleur lors de traitements invasifs (injections). 20 enfants âgés de 7 à 14 ans pris en charge dans un service d'oncologie pédiatrique ont été intégrés dans l'étude. Ils ont été placés aléatoirement dans deux groupes : un groupe bénéficiant de réalité virtuelle (groupe expérimental) pendant le soin et un autre sans réalité virtuelle (groupe contrôle).

Les critères d'évaluation étaient la douleur ressentie pendant le soin et l'anxiété des enfants, évaluée par des auto-évaluations subjectives et des évaluations physiologiques et comportementales objectives.

Les résultats montrent que les enfants du groupe expérimental ont ressenti significativement moins de douleur que le groupe contrôle. De plus, les auto-évaluations réalisées indiquent que le groupe expérimental est plus à même de raconter son expérience que le groupe contrôle. Les auteurs émettent l'hypothèse que la diminution du stress subi lors des soins expliquerait cette faculté à mieux gérer les informations émotionnelles.

Il semble intéressant de se demander si c'est réellement la réalité virtuelle qui permet de diminuer les sensations de douleur et d'anxiété ou si un autre type d'élément 'distayant' aurait les mêmes effets.

Pour ce faire, Reger et al.(47) ont inclus 57 enfants dans une étude de 2003. L'objectif était de mesurer l'efficacité d'éléments de distraction sur la douleur et l'anxiété lors de prises de sang.

Les enfants ont été répartis aléatoirement dans quatre groupes :

- prise de sang sans distraction,
- prise de sang avec distraction de type dessin animé,
- prise de sang avec environnement virtuel présenté par un ordinateur,
- prise de sang au sein d'un environnement virtuel de type immersif.

Il faut préciser que pour l'ensemble des groupes, la prise de sang était dissimulée de la vue de l'enfant.

Les résultats montrent que les enfants qui ont reçu la prise de sang avec environnement virtuel immersif ont ressenti significativement moins de douleur et d'anxiété que l'ensemble des autres groupes testés. Ils montrent également que ces enfants ont rapporté le plus haut niveau de présence, attestant que la réalité virtuelle immersive était la technique la plus efficace pour capter l'attention des enfants.

Enfin, les auteurs ont également mesuré les cybermalaises. Ils ne rapportent aucune interaction significative entre les différents groupes et des sensations de malaise. Ainsi, les enfants en environnement virtuel immersif n'ont pas ressenti plus de mal-être que dans les autres conditions.

Réalité virtuelle et douleur chronique

On a vu dans les études précédentes que les compétences acquises dans un environnement virtuel sont transposables dans la vie de tous les jours. Il est légitime de se demander si la réalité virtuelle a une action sur la réduction des douleurs à distance de la pratique et si ces effets sont durables. Très peu d'études se sont intéressées à l'impact que pourrait avoir la réalité virtuelle sur la douleur chronique.

Aucune étude n'a évalué cet aspect chez l'enfant.

Une étude randomisée (48) a évalué vingt patients souffrant de douleurs chroniques, qui ont été répartis en deux groupes. Ils ont été immergés dans un environnement virtuel conçu par les chercheurs, 'CryoSlide'. Les résultats montrent une réduction des douleurs par rapport au groupe témoin mais ne précise pas la durée de l'analgésie.

Oneal et al. (49) ont quant à eux publié une étude sur l'évaluation d'un protocole associant hypnose et réalité virtuelle. Un patient, souffrant de douleurs chroniques qui n'avaient pas été soulagées par le traitement médical conventionnel, a été testé sur 33 séances. Il rapportait une disparition ou une diminution des douleurs pendant des heures à l'issue des séances. Cependant, un mois après la fin de la thérapie, l'intensité douloureuse était revenue à son niveau de prétraitement, montrant les limites de l'étude.

Et les douleurs neuropathiques ?

Concernant les douleurs neuropathiques, la réalité virtuelle peut être utilisée pour simuler le mouvement de parties spécifiques du corps que le patient est incapable de contrôler ou éviter d'utiliser. Deux études le montrent :

- Cole et al. (50) ont montré que la réalité virtuelle est un moyen efficace pour réduire la douleur du membre fantôme pour les patients amputés des bras ou des jambes ; à l'aide d'un mouvement simulé dans un monde virtuel, les amputés ayant utilisé cette technologie ont déclaré ressentir des niveaux beaucoup plus faibles de douleur fantôme dans le bras ou la jambe affecté par rapport à un groupe témoin utilisant des méthodes conventionnelles de distraction de la douleur,
- Ramachandran et Seckel ont suggéré qu'une approche similaire pourrait être utilisée afin de traiter les personnes atteintes de fibromyalgie et qui ressentent une douleur au cours du mouvement.

F. Critique de revue de littérature

• Généralités

Lorsqu'on analyse ces études de manière globale, on peut extraire quatre critiques principales.

De manière générale, la population incluse dans les différentes études n'est pas assez importante pour pouvoir généraliser les résultats obtenus. Certaines études, comme celles menées sur la réorganisation du cortex moteur, n'indiquent pas le nombre de patients.

La littérature concernant le traitement du SDRC et la réalité virtuelle pour l'enfant est pauvre. Il a donc été nécessaire de prendre en compte des études réalisées chez les adultes. Fautes d'études chez l'enfant, la réorganisation du cortex moteur, la thérapie en miroir et le transfert des compétences en réalité virtuelle regroupent tous des études réalisées chez des patients adultes. Or, on sait que l'enfant n'est pas un adulte miniature et que les résultats obtenus avec les adultes ne sont pas forcément généralisables pour une population pédiatrique.

Ensuite, la précocité de la prise en charge est un facteur déterminant dans la résolution des symptômes. Or, la plupart des études ne précisent pas le moment de l'administration par rapport au déclenchement de la maladie.

Enfin, il manque de données chiffrées sur l'intensité de l'analgésie, que ce soit au niveau de l'efficacité du traitement médicamenteux, de la rééducation ou des techniques de distraction.

Si on s'intéresse aux différentes parties en détail, on peut relever plusieurs éléments discutables.

• Traitement du SDRC en pédiatrie

Il manque des études sur l'efficacité des antalgiques classiques définis par l'OMS.

- **Réalité virtuelle**

Transfert des compétences

Les résultats des différentes études concernant le transfert des acquis sont difficilement comparables, et ce pour plusieurs raisons. Les environnements virtuels diffèrent dans leur conception et dans les interactions possibles dans l'environnement virtuel. Or, la capacité de transfert dépend énormément du contexte dans lequel l'apprentissage est réalisé. De plus, le réalisme apporté à l'environnement virtuel n'est pas identique suivant les études, ce qui va impacter directement le sentiment de présence et donc l'efficacité de la thérapeutique.

Enfin, les critères d'évaluation des résultats sont différents (tâches simple ou complexe par exemple) tout comme le matériel utilisé.

Réalité virtuelle et douleur

La plupart des études ne mentionnent pas le type d'environnement virtuel, le nombre de modalités sensorielles impliquées et par conséquent le degré de présence.

Ensuite, beaucoup d'études se sont intéressées à des enfants atteints de cancer ou à des soins douloureux. Il paraît intéressant de se demander si ces résultats sont reproductibles à une population pédiatrique prise en charge pour un syndrome douloureux régional complexe.

Enfin, plusieurs études ont étudié l'impact de la réalité virtuelle sur la sensation douloureuse et l'anxiété. Or, peu d'entre elles s'intéressent aux cybermalaises pouvant survenir dans ce type d'interaction. En effet, ces manifestations peuvent biaiser les sensations perçues par le sujet et donc avoir une répercussion directe sur l'évaluation de l'anxiété. On peut tout de même noter que lorsqu'il s'agit d'une population d'enfants atteints de cancer, il est difficile de différencier les troubles liés au cybermalaise des effets secondaires inhérents au traitement chimiothérapeutique.

G. Conclusion

La réorganisation corticale, consécutive aux phénomènes de sensibilisation de l'influx nociceptif, a été prouvée chez l'adulte et l'enfant. Cependant, il est nécessaire de réaliser des études contrôlées randomisées comprenant un nombre plus important de patients pour affirmer l'existence des modifications cérébrales.

Le traitement du SDRC chez les patients mineurs diffère peu de celui de l'adulte. Cette revue de littérature montre la diversité des traitements proposés et le manque d'études, surtout chez l'enfant.

La plupart des thérapeutiques s'intéresse à la prise en charge des phénomènes algiques mais ne prennent pas en compte la réorganisation s'opérant au niveau des aires motrices et sensitives et favorisant l'entretien du cercle vicieux de la douleur. On observe, dans la plupart des études (Low, Sherry, Maillard) plusieurs cas de récurrences.

La thérapie miroir a été le sujet d'études dans le traitement du SDRC de l'adulte et des douleurs chroniques en général, où les phénomènes de neuroplasticité sont également présents. Elles montrent un intérêt dans la diminution, voire la disparition, de douleurs chroniques. Là encore, les populations incluses ne sont pas assez importantes et des biais existent, avec l'association de la thérapie miroir à d'autres thérapeutiques.

Le transfert d'apprentissages à partir d'environnements virtuels a été prouvé, notamment par les études de Todorov et d'Hoarau. Des précisions doivent être apportées concernant le type d'environnement virtuel, le niveau d'immersion (immersif ou non), pouvant influencer le sentiment de présence des sujets et donc les capacités d'interaction de celui-ci en réalité virtuelle.

La réalité virtuelle a montré son potentiel de distraction de la douleur chez l'enfant, avec un effet bénéfique pendant la séance. Aujourd'hui, les seules études réalisées sur une possible influence de la réalité virtuelle sur la douleur chronique ont été menées avec des patients adultes et n'ont pas montré d'intérêt concluant.

VI. Discussion

L'étiopathogénie du syndrome douloureux régional complexe n'est pas encore connue de nos jours. Les mécanismes de sensibilisations périphérique et centrale de l'influx nociceptif sont à l'origine de la chronicisation de la douleur. L'excès de nociception stimule les systèmes nerveux périphérique, central et sympathique. Les réponses à ces stimuli sont différentes, au niveau des systèmes nerveux sympathique (troubles vasomoteurs et trophiques) et centraux (réorganisation corticale à l'origine de troubles sensitifs et moteurs).

On constate ici qu'un traumatisme, même minime, peut entraîner une cascade de symptômes importants et variés. Cela est encore plus vrai chez l'enfant, pour deux raisons :

- prédisposition aux phénomènes de sensibilisation,
- non acquisition des capacités de compréhension, de gestion et d'introspection nécessaires pour faire face à une douleur chronique.

Les traitements possibles du SDRC sont très diversifiés, que ce soit au niveau médicamenteux ou de la physiothérapie. Les différences de tableaux cliniques entre patients et l'importance des symptômes ont incité à une multiplication des moyens thérapeutiques, avec un manque de preuve et des traitements mal codifiés.

De plus, la plupart de ces traitements ont pour objectif la prise en charge des symptômes mais ils ne s'intéressent pas à la réorganisation du système nerveux central.

A. Hypothèse sur l'origine de la réorganisation cérébrale

L'origine des modifications du fonctionnement du système nerveux central n'a pas été prouvée de manière scientifique par des études contrôlées et randomisées. Cependant, au vu des manifestations cliniques précédemment citées, nous pouvons émettre l'hypothèse de l'origine nociceptive sur la genèse de ce remaniement.

La sensation de douleur met en jeu des mécanismes complexes. Les différentes fibres véhiculant l'influx nociceptif, les molécules permettant la transmission de l'information et les possibilités de régulation de la nociception sont sources de dysfonctionnements. Ceux-ci peuvent expliquer la chronicisation de la douleur. Cela aboutit à des phénomènes de sensibilisations périphérique et centrale avec une réorganisation corticale.

• Perturbations sensitives

Pour Maihöfner, la répétition des influx nociceptifs véhiculés par les fibres C serait la cause des modifications cérébrales au niveau de S1 et également au niveau de S2 et du thalamus.

C'est suite à ces premières modifications qu'apparaîtrait l'ensemble des symptômes sensitifs : hypoesthésie, perturbation du schéma corporel, modifications de la perception de la verticale subjective.

• Perturbation motrices

Ces changements au niveau sensitif et perceptif entraînent une altération du feedback proprioceptif ce qui a un impact direct sur la commande motrice. En effet, les phases de préparation et d'initiation du mouvement restent normales mais la précision d'exécution au cours du mouvement est diminuée, par défaut de contrôle proprioceptif.

Enfin, l'activation excessive des aires motrices controlatérales à la lésion pourrait être due à une diminution des processus d'inhibition motrice intra-corticale, eux-mêmes secondaires à l'excès de nociception au niveau médullaire et/ou corticale.

Ces modifications seraient à l'origine de la pérennisation de la douleur : la discordance entre l'action motrice et le feedback proprioceptif altéré serait responsable de l'exacerbation et de l'entretien des influx nociceptifs.

B. Hypothèse sur le mode d'action de la réalité virtuelle

• **Actions au niveau cérébral**

La restitution de la concordance entre la commande motrice et les influx sensitifs et sensoriels (vision) semblent être le mécanisme en jeu dans la réhabilitation du SDRC.

Etant donné que les informations proprioceptives sont perturbées voire absentes, le feedback uniquement visuel, en adéquation avec le mouvement réalisé, permettrait la transmission d'influx pertinents entre le cortex pariétal postérieur et le cortex pré-moteur.

Cela réduirait les phénomènes douloureux et resituerait un schéma corporel normal.

A terme, la diminution des douleurs et la concordance entre informations sensitives, sensorielles et motrices entraînerait la récupération d'une représentation corticale normale.

Le rôle des neurones miroirs est également avancé dans les mécanismes d'action de la réalité virtuelle.

Ces neurones, situés dans les lobes frontaux et pariétaux sont en interaction avec plusieurs types d'informations : sensorielle (vision), sensitive (proprioception) et motrice. Ils vont être activés lorsque le patient effectue une action mais également par la seule vision de cette action réalisée par un tiers.

Si on prend l'exemple de la Kinect (**Annexe X**), un dispositif de réalité virtuelle développée par Microsoft, la vision de l'avatar, sain, pourrait activer ce système, ce qui permettrait une restauration des informations contribuant à l'élaboration d'un schéma moteur concordant avec les afférences visuelles et proprioceptives.

• **Actions au niveau psychologique**

Autre hypothèse avancée, la réalité virtuelle entraînerait une diminution de l'attention portée par le patient à son membre atteint, et donc aux phénomènes douloureux.

Enfin, la réalité virtuelle permettrait au patient de mobiliser activement son membre lésé ce qui contribuerait à lutter contre la kinésiophobie (peur du mouvement), symptôme pouvant être présent chez les patients atteints de douleur chronique et plus spécifiquement dans le SDRC où on suppose qu'un terrain psychologique prédominant favoriserait l'apparition de la maladie. Le trouble attentionnel est ainsi corrigé, les influx proprioceptifs sont de nouveaux adaptés à l'action réalisée permettant le retour d'un schéma moteur normal.

• **Conflits**

Dans la littérature classique, le conflit est défini comme « *toute opposition survenant entre des parties en désaccord, l'une souhaitant imposer ses positions, à l'encontre des attentes ou des intérêts de l'autre partie* ».

Par extension, cette définition s'applique aux conflits survenant lors de l'immersion dans un environnement virtuel. On distingue trois types de conflits survenant en réalité virtuelle. Le premier est propre à la conception d'un environnement virtuel. Les avancées technologiques actuelles ne nous permettent pas d'avoir une restitution parfaite des actions du patient dans l'environnement virtuel. Cela crée une latence, source potentielle de conflits.

Les deux autres conflits ont pour origine l'incohérence des informations sensorielles parvenant au cerveau. D'une part, la plupart des environnements virtuels n'utilisent que la modalité visuelle comme feedback au patient. Cela signifie que les modalités proprioceptives et vestibulaires informent le cerveau sur la présence du corps dans le monde réel tandis que les influx visuels sont relatifs aux interactions dans la réalité virtuelle.

D'autre part, il y aura un phénomène de discordance entre les actions motrices réalisées et le retour sensoriel, par modification du couplage sensorimoteur (cf interaction en réalité virtuelle).

Conséquences des conflits

En rééducation, les conflits sont considérés comme sources d'apprentissage car il nécessite une adaptation de la part du cortex cérébral.

En réalité virtuelle, le cerveau humain possède la capacité d'inhiber les informations sensorielles de sa présence physique dans le monde réel (à l'origine de conflits).

Dans les études d'Ivanenko et al. en 1998 et de Lambrey et al. en 2002, des sujets, plongés dans des environnements virtuels et soumis à des conflits sensoriels importants n'ont pas perçu de manière consciente ces conflits.

Les sujets étaient confrontés à des rotations de 90 degrés dans un visiocasque et de 180 degrés dans le monde réel. L'absence de conscientisation des discordances entre informations visuelle et vestibulaire, a permis de ne pas créer de conflits.

Il est donc possible pour l'organisme humain de s'adapter de manière inconsciente aux conflits sensoriels entre réalité virtuelle et monde réel et de s'échapper de la réalité.

L'externalisation du soi par décorporation sensorielle

Ces études mettent en avant le phénomène de décorporation sensorielle provoquée en réalité virtuelle (51). La décorporation correspond aux expériences de sortie inconsciente du corps. L'immersion en environnement virtuel entraîne la production d'informations sensorielles erronées par rapport aux prédictions faites en amont du mouvement. La perception du corps devient différente car le système sensoriel n'est plus « connecté » aux informations du monde réel mais à l'environnement virtuel. L'externalisation du soi (cf remarque) est rendu possible par la présence de conflits.

Ainsi, le patient, au travers de la réalité virtuelle, a accès à un corps sain, représenté en général par un avatar.

Remarque : selon Jung, « le soi est le lieu virtuel d'unification du conscient et de l'inconscient, permettant ainsi la réalisation de la personnalité psychique authentique ».

C. Quel est l'intérêt de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur d'un enfant atteint de SDRC ?

La répétition des influx nociceptifs, causée par les sensibilisations périphérique et central du système nerveux, est à l'origine de troubles sensitifs (hypoesthésie, perturbation du schéma corporel, etc).

Parmi ces troubles, le feedback proprioceptif est inhibé par les informations douloureuses, avec pour conséquence des troubles moteurs. Ces troubles sont à l'origine d'une discordance entre l'action motrice et le feedback proprioceptif qui en résulte, ce qui entraîne une pérennisation des douleurs.

Il a été prouvé par différentes études que la réalité virtuelle provoque une diminution d'attention sur la douleur aiguë pendant les soins. Cela signifie que, pendant l'immersion dans un environnement virtuel, le patient est moins focalisé sur ses sensations douloureuses. Les autres informations sensitives et sensorielles sont donc moins inhibées, comme, par exemple, les feedbacks proprioceptif. Celui-ci est en adéquation avec le mouvement réalisé. Les informations proprioceptives parvenant au cerveau sont pertinentes et cohérentes, ce qui permet l'intégration d'un schéma corporel normal. A terme, le patient retrouve une représentation corticale normale et par conséquence une diminution, voire une absence de douleurs.

De plus, la présence de conflits en réalité virtuelle est à l'origine de la décorporation sensorielle. Cela entraîne une externalisation du soi, le sujet se projetant dans l'avatar. Le cerveau est capable de créer un double et d'étendre le schéma corporel du patient sur l'avatar

De par son feedback visuel, il a accès à un nouveau mode de couplage sensorimoteur, avec une perception de son propre corps nouvelle et une extension de son schéma moteur sur l'avatar sain.

Cela a deux conséquences. Premièrement, l'accès à un avatar sain lui permet de mobiliser activement son membre lésé et ainsi de lutter contre la kinésiophobie. Deuxièmement, le feedback visuel est également cohérent par rapport au mouvement réalisé. Les informations, cette fois-ci visuelles, sont cohérentes avec le schéma moteur et la prédiction du mouvement faite en amont, ce qui aboutit aux mêmes bénéfices que le retour d'informations proprioceptives pertinentes.

Enfin, le rôle des neurones miroirs est discuté. Il dépend du type de la réalité virtuelle, et notamment de la vision à la première ou à la troisième personne. Lorsque l'environnement virtuel utilise une vision à la troisième personne, le sujet voit le corps de l'avatar et donc les mouvements qu'il lui fait réaliser. Dans ce cas, les neurones sont activés par la vision de l'action réalisée par l'avatar. Cela permettrait une restauration de la concordance entre les informations visuelles, proprioceptives et motrices.

La chronicisation d'une douleur a des effets néfastes sur tous les individus quelque soit leur âge, et particulièrement chez les enfants. Ils n'ont pas les capacités de compréhension ni de gestion du message douloureux. Ils sont aussi plus touchés par la sensibilisation des systèmes nerveux périphérique et central. Enfin, la mémorisation de cette douleur peut entraîner de possibles récurrences à des âges plus avancés.

Le cerveau de l'enfant est encore en période de croissance contrairement à celui de l'adulte. Il est en perpétuel apprentissage de par son interaction avec son environnement. Il a aussi une propension à l'imaginaire supérieure à une personne adulte. Or, la décorporation s'opérant en réalité virtuelle nécessite une certaine malléabilité et une mobilité de l'image du corps. L'enfant est donc plus sensible aux effets de la réalité virtuelle.

Ainsi, la réalité virtuelle a de potentiels effets plus importants sur des patients mineurs, et les enfants et adolescents sont plus en capacité de s'immerger dans un environnement virtuel qu'un patient adulte.

D. Proposition d'un protocole expérimental

• **Introduction**

Il apparaît nécessaire de réaliser de plus amples études contrôlées et randomisées sur l'ensemble des hypothèses formulées ci-dessus. Les suggestions faites sur l'origine de la réorganisation corticale, les modes d'actions de la réalité virtuelle et les intérêts de la réalité virtuelle dans la prise en charge du syndrome douloureux régional complexe en milieu pédiatrique sont le résultat d'une réflexion personnelle. Les techniques de rééducation du masso-kinésithérapeute ne doivent plus se baser sur des constatations empiriques. Il est indispensable de continuer à mener des études pour prouver l'efficacité de nos techniques et les frapper du label « Evidence-Based Practice », la pratique basée sur des preuves.

La réalité virtuelle a montré sa capacité à diminuer l'attention du patient sur sa douleur pendant le soin mais manque de preuve dans la prise en charge de la douleur chronique.

Les hypothèses formulées nous amènent à penser que la réalité virtuelle peut avoir sa place dans l'arsenal thérapeutique du praticien prenant en charge un enfant atteint de SDRC. De plus, au vu des fortes ressemblances entre les mécanismes d'action de la réalité virtuelle et de la thérapie par dispositif miroir (52) (autrefois dénommé par Ramachandran comme « boîte de réalité virtuelle »), il semble y avoir un axe thérapeutique intéressant. La réalité virtuelle serait

une version améliorée de la boîte miroir, pouvant impliquer plus de modalités sensorielles et avec un champ d'interaction 'illimité', le tout sans contrainte positionnelle.

L'ensemble de ces données montre l'intérêt de mettre en place un protocole de rééducation. L'objectif de celui-ci est de savoir si la réalité virtuelle a bel et bien sa place comme nouveau dispositif technique, en association avec la triade antalgiques/masso-kinésithérapie/psychothérapie, pour la résolution des différents symptômes retrouvés dans le syndrome douloureux régional complexe en pédiatrie.

- **Contexte de l'étude**

Le protocole a été réalisé de manière à pouvoir être appliqué par le plus grand nombre de structures possibles prenant en charge des enfants atteints de SDRC, et ainsi avoir le maximum de résultats. Les critères d'inclusion s'intéressent à la majorité des enfants et adolescents atteints de SDRC.

Le dispositif de réalité virtuelle choisi est la Kinect. C'est l'interface la plus intéressante aujourd'hui au niveau du rapport qualité/prix. Il n'était pas concevable de choisir un système de réalité virtuelle de type immersif. Ils sont beaucoup trop onéreux (de quelques milliers à des dizaines de milliers d'euros) et les applications de réalité virtuelle disponibles aujourd'hui dans le monde médical ne justifient pas un tel investissement.

- **Méthodologie**

La population

La cible est une population de filles et de garçons, âgés de 6 à 18 ans, filles et garçons, avec un SDRC du membre inférieur diagnostiqué par le médecin.

Les critères d'inclusion

Le premier critère d'inclusion est le diagnostic, chez un enfant, d'un SDRC du membre inférieur. Le patient mineur doit être pris en charge en hospitalisation de jour ou complète, avec cinq séances de kinésithérapie par semaine. L'étiologie du SDRC doit être un traumatisme, même minime. Le retard au diagnostic ne doit pas excéder trois mois. Il est nécessaire que ce soit la première manifestation de SDRC. Enfin, la pathologie ne doit toucher qu'une seule articulation.

Les critères d'exclusion

Les enfants d'âge inférieur à 6 ans et supérieur à 18 ans ne sont pas retenus. Ils n'ont pas les capacités cognitives pour l'évaluation de la douleur et la compréhension de la Kinect. Tout problème médical ou symptôme non relatif au syndrome douloureux régional complexe est également un facteur d'exclusion : insuffisance cardio-respiratoire, maladie neurologique, trouble orthopédique non lié au SDRC. Enfin, les enfants ne répondant pas aux critères d'inclusion ne rentrent pas dans l'étude.

L'intervention

Le délai de prise en charge est d'un mois.

Les patients bénéficient d'une séance d'une heure par jour avec comme séance type massage, mobilisation, renforcement musculaire, thermothérapie (à voir suivant le ressenti du patient), travail fonctionnel et Kinect pour le groupe cible.

Le traitement médicamenteux est à prendre dans l'heure précédant la séance.

Le partage de la population se fait au hasard dans deux groupes, un groupe cible bénéficiant de Kinect un groupe témoin avec un traitement conventionnel.

Les bilans initial et final ainsi que les séances de rééducation sont réalisés par le kinésithérapeute référent de l'enfant, de manière à standardiser les bilans.

Concernant la partie Kinect, la durée d'immersion en réalité virtuelle est de vingt minutes pendant deux semaines puis trente minutes les deux semaines suivantes. Le jeu choisi est 'Kinect Adventure' avec le choix pour le patient des différents mini-jeux proposés pour ne pas perdre l'intérêt ludique de la Kinect.

Les critères d'évaluation

La douleur est le premier critère d'évaluation. Elle doit être mesurée par l'échelle visuelle analogique avant le début de séance, avant le début de la Kinect et à la fin de la séance.

Les symptômes relatifs aux cybermalaises sont également évalués avant et après l'utilisation de la Kinect.

Enfin, la qualité de vie et l'état psychologique du patient sont mesurés par l'intermédiaire de l'échelle de qualité de vie PedsQL 4.0. Elle prend en compte quatre domaines (physique, social, émotionnel et scolaire) et est validée en français.

Il a été réalisé une annexe au protocole destiné aux thérapeutes où il est indiqué plus précisément le déroulement de la séance et l'arsenal thérapeutique à disposition des praticiens avec les modalités de mise en œuvre.

- **Les annexes**

Des annexes ont été réalisées afin de standardiser au maximum les bilans et les interventions pour avoir la plus grande reproductibilité possible et éviter les biais.

Elles comprennent le formulaire de consentement, les notices d'informations pour les parents et pour le patient mineur, les bilans d'entrée/sortie, l'échelle de qualité de vie PedsQL 4.0 et des précisions sur les séances de masso-kinésithérapie, en fonction de l'état du patient.

VII. Conclusion

La compréhension des bases neurophysiologiques de la douleur nous a permis de mettre en évidence les mécanismes de chronicisation de l'influx nociceptif. Les enfants sont plus affectés par les phénomènes de sensibilisations périphérique et central, à l'origine des troubles des systèmes nerveux sympathique et central se manifestant dans la survenue du syndrome douloureux régional complexe. Les traitements actuels sont principalement destinés à une population adulte et nécessitent des preuves sur leur efficacité, tant chez l'adulte que chez l'enfant et l'adolescent. Ils ont un objectif principalement antalgique et ne prennent pas en compte la réorganisation corticale des aires sensibles et motrices, favorisant la pérennisation des douleurs.

La réalité virtuelle a montré sa capacité à diminuer l'attention portée à la douleur pendant l'immersion en environnement virtuel, permettant l'expression d'autres modalités sensibles.

Les hypothèses de mécanismes d'action sur les composantes sensibles, sensorielles et motrices ainsi que les similitudes avec la thérapie miroir, efficace dans la prise en charge de douleurs chroniques, suggèrent l'intérêt d'inclure la réalité virtuelle dans l'arsenal thérapeutique du praticien prenant en charge un enfant atteint de SDRC, en association avec le traitement conventionnel antalgiques/masso-kinésithérapie/psychothérapie. Le retour d'une représentation corticale normale permettrait, à terme, de diminuer les phénomènes algiques.

Cela nécessite la mise en place d'études contrôlées randomisées afin de déterminer si, en plus de son action sur les douleurs aiguës, la réalité virtuelle a sa place dans la prise en charge des douleurs chroniques.

BIBLIOGRAPHIE

1. Kadi N, Abourazzak FE, Harzy T. Algodystrophie: quelle prise en charge thérapeutique? *Revue Marocaine de Rhumatologie*. 2013;(24).
2. Dr Meyer K. Bases neurophysiologiques et évaluation d'une douleur aiguë et chronique.
3. Dr Wiart. Anatomie de la douleur et neurophysiologie. DIU Prise en charge de la douleur CHU Caen.
4. Dr Le Moine P. Douleurs de l'enfant. Centre d'évaluation et Traitement de la Douleur, CHRU Brest. 2015 Sep;
5. Walco GA, Dworkin RH, Krane EJ, LeBel AA, Treede R-D. Neuropathic Pain in Children: Special Considerations. *Mayo Clinic Proceedings*. 2010 Mar;85(3):S33–41.
6. Mann C. Neuro-physiologie de la douleur. CHU de Montpellier. 2007 Jan;5.
7. Wood C, Sakiroglu O, Cunin-Roy C. Particularités dans la prise en charge de la douleur de l'adolescent. *Archives de Pédiatrie*. 2008 Oct;15(10):1600–5.
8. Gatbois E, Annequin D. Prise en charge de la douleur chez l'enfant d'un mois à 15 ans. *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*. 2008 Feb;21(1):20–36.
9. Cunin-Roy C, Bienvenu M, Wood C. Les traitements non médicamenteux dans la prise en charge de la douleur de l'enfant et de l'adolescent. *Archives de pédiatrie*. 2007;14(12):1477–80.
10. Sarrazy B. Le développement cognitif selon Jean Piaget. Département des Sciences de l'Education, Université Victor Segamen Bordeaux 2. 2007;
11. Vincent B, Wood C. Les syndromes douloureux régionaux complexes (SDRC) de type I et II. *Douleurs : Evaluation - Diagnostic - Traitement*. 2008 Feb;9(1):11–20.
12. Lauwers A, Koenig M, Navez M, Cathébras P. Algodystrophie ou syndrome douloureux régional complexe de type I: mise au point. *Médecine thérapeutique*. 2006;12(2):108–16.
13. Vincent B, Wood C. Les syndromes douloureux régionaux complexes (SDRC) chez l'enfant. *Médecine thérapeutique/Pédiatrie*. 2009;12(5):313–22.
14. Low A., Ward K, Wines A. Pediatric complex regional pain syndrome. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 2007;27:567–72.

15. Kacho L, Efrat R, Ben Ami S, Mukamed M, Katz J. Complex regional pain syndromes in children and adolescents. *Pediatrics International*. 2008;50:523–7.
16. Wilder R. Management of pediatric patients with complex regional pain syndrome. *Clinical Journal of Pain*. 2006;22:443–8.
17. Vincent B, Wood C. Les syndromes douloureux régionaux complexes (SDRC) chez l'enfant. *Medecine Therapeutique Pediatrie*. 2009 Sep;12(5).
18. Calmels P, Fayolle-Minon I. Traitement du syndrome régional douloureux complexe. *La Lettre de médecine physique et de réadaptation*. 2012 Jun;28(2):76–82.
19. Fuchs P, Moreau G, Auvray M, École nationale supérieure des mines de Paris. *Le traité de la réalité virtuelle*. Paris: Presses de l'École des mines; 2006.
20. KLINGER É, Marié R, FUCHS P. RÉALITÉ VIRTUELLE ET SCIENCES COGNITIVES. Applications en psychiatrie et neuropsychologie [Virtual reality and cognitive sciences: applications in psychiatry and neuropsychology] in *Cahiers Romains des Sciences Cognitives*. 2008;(3):2.
21. Viaud-Delmon I. Corps, action et cognition: la réalité virtuelle au défi des sciences cognitives. *Intellectica*. 2007;45(1):37–58.
22. Klinger E, Marié R-M, Viaud-Delmon I. Applications de la réalité virtuelle aux troubles cognitifs et comportementaux. *Le traité de la réalité virtuelle [Internet]*. 2006 [cited 2016 May 8];4. Available from: http://perso.univ-lille3.fr/~ycoello/enseignement/2006_klinger_traite.pdf
23. Klinger E. Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux. *Ecole Doctorale d'Informatique, Télécommunications et électronique de Paris*. 2006 Jul 2;228.
24. Libellé A. Le dossier médical en santé au travail. Consensus formalisé, janvier 2009. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 2009;70:183–6.
25. Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. Agence Nationale de l'Accréditation et d'Évaluation en santé. 2000 Jan;
26. Maihöfner C, Handwerker H., Neundorfer B, Birklein F. Cortical reorganization during recovery from complex regional pain syndrome. *Neurology*. 2004;63:693–701.
27. Pleger B, Tegenthoff M, Ragert P, Forster A., Dinse H., Schwenkreis P, et al. Sensorimotor retraining in complex regional pain syndrome parallels pain reduction. *Annals of Neurology*. 2005;57:425–9.

28. Lebel A, Becerra L, Wallin D. fMRI reveals distinct CNS processing during symptomatic and recovered complex regional pain syndrome in children. *Brain*. 2008;131:1854–79.
29. Maihöfner C, Baron R, Decol R, Binder A, Birklein F, Deuschl G, et al. The motor system shows adaptative changes in complex regional pain syndrome. *Brain*. 2007;130:2671–87.
30. Mc Cabe C. Mirror visual feedback therapy. A practical approach. *J Hand Ther*. 2011;24:170–9.
31. Wertli MM, Kessels AG, Perez RS, Bachmann LM, Brunner F. Rational Pain Management in Complex Regional Pain Syndrome 1 (CRPS 1)—A Network Meta-Analysis. *Pain Medicine*. 2014;15(9):1575–89.
32. Dadure C, Motals F, Ricard C, Raux O, Troncin R, Capdevila X. Continuous Peripheral Nerve Blocks at Home for Treatment of Recurrent Complex Regional Pain Syndrome I in Children. *American Society of Anesthesiologists*. 2005;102:387–91.
33. Lassauge F. Syndromes douloureux régionaux complexes (SDRC) chez l'enfant, que nous dit la littérature ? *La Lettre de médecine physique et de réadaptation* [Internet]. 2012 Aug 23 [cited 2016 May 8]; Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11659-012-0320-5>
34. Sherry D., Wallace C., Kelley C. Short- and longterm outcomes of children with complex regional pain syndrome type I treated with exercise therapy. *The Clinical Journal of Pain*. 1999;15:218–23.
35. Maillard S., Davies K, Khubchandani R. Reflex sympathetic dystrophy: a multidisciplinary approach. *Arthritis Rheum*. 2004;51:284–90.
36. Harden R., Swan M, King A, Costa B, Barthel J. Treatment of complex regional pain syndrome : functional restoration. *Clinical Journal of Pain*. 2006;22:420–4.
37. Mc Cabe C., Haig R., Ring E, Halligan P., Wall P, Blake D. A controlled pilot study of mirror visual feedback in treatment of complex regional pain syndrome (type 1). *Rheumatology*. 2003;42:97–101.
38. Moseley G. Is successful rehabilitation of complex regional pain syndrome due to sustained attention to the affected limb ? A randomized clinical trial. *Pain*. 2005;114:54–61.
39. Moseley G. Graded motor imagery for pathologic pain. *Neurology*. 2006;67:2129–34.
40. Bossard C, Kermarrec G, Buche C, Tisseau J. Transfer of learning in virtual environments: a new challenge? *Virtual Reality*. 2008 Sep;12(3):151–61.

41. Marque P, Anglio K, Castel-Lacanal E, Labrune D, Gasq D, Simonetta-Moreau M, et al. Etude en IRMf de la perception d'une main virtuelle. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2010;53:165–7.
42. Todorov E, Shadmehr R, Bizzi E. Augmented feedback presented in a virtual environment accelerates learning of a difficult motor task. *Journal of Motor Behavior*. 1999;29:147–58.
43. Hoarau Charlotte, Ganier F, Querrec R, Buche C, Le Corre F. Evaluation du transfert d'apprentissage d'une procédure en environnement virtuel à une situation réelle. 55ème congrès de la Société Française de Psychologie. 2013 Sep;
44. Brooks B., Attree E., Rose F., Clifford B., Leadbetter A. Route learning in a case of amnesia : a preliminary investigation into the efficacy of training in virtual environment. *Neuropsychological Rehabilitation*. 1999;9:63–76.
45. Hoffman H, Richards T, Coda B, Bills A, Blough D, Richards A, et al. Modulation of thermal pain-related brain activity with virtual reality: evidence from fMRI. *Neuroreport*. 2004 Jul 7;15(8):1245–8.
46. Wolitzky K, Fivush R, Zimand E, Hodges L, Rothbaum B. Effectiveness of virtual reality distraction during a painful medical procedure in pediatric oncology patients. *Psychology and Health*. 2005;20(6):817–24.
47. Reger G., Rizzo A, Buckwalter J., Golg J, Allen R, Augustine R, et al. Effectiveness of virtual reality for attentional control to reduce children's pain during venipuncture. 2003;
48. Keefe FJ, Huling DA, Coggins MJ, Keefe DF, Rosenthal ZM, Herr NR, et al. Virtual reality for persistent pain: A new direction for behavioral pain management: *Pain*. 2012 Nov;153(11):2163–6.
49. Oneala B, Patterson D, Soltania M, Teeleya A, Jensena M. Virtual Reality Hypnosis in the Treatment of Chronic Neuropathic Pain: A Case Report. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*. 2008;56(4):451–62.
50. Schönauer C, Pintaric T, Kaufmann H, Jansen-Kosterink S, Vollenbroek-Hutten M. Chronic pain rehabilitation with a serious game using multimodal input. In: *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2011 International Conference on [Internet]. IEEE; 2011 [cited 2016 May 8]. p. 1–8. Available from: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5971855*
51. Andrieu B. L'externalisation du soi par la décorporation sensorielle. *L'Evolution psychiatrique*. 2010;75(3):371–81.
52. Stoffel J-F, Mouton L. Douleurs fantômes, boîte-miroir et réalité virtuelle: une nouvelle approche pour le kinésithérapeute?(I). *Revue des Questions Scientifiques*. 2010;181(3):273–304.

ANNEXES

ANNEXES

Sommaire

I- La douleur

- Annexe I : Circuit de la douleur
- Annexe II : Synthèse de l'ensemble des substances à l'origine de l'inflammation neurogène
- Annexe III : Mécanisme Gate Control
- Annexe IV : Hypothèse sur lieux de stockage d'un événement douloureux et ses composantes
- Annexe V : Hyperfixation à la scintigraphie
- Annexe VI : Mécanismes d'apparition des symptômes suite au dysfonctionnement de l'activité sympathique

II- Revue de littérature

- Annexe VII : Grille de lecture pour article thérapeutique
- Annexe VIII : Evaluation de la douleur par EVA au cours de l'étude de Dadure

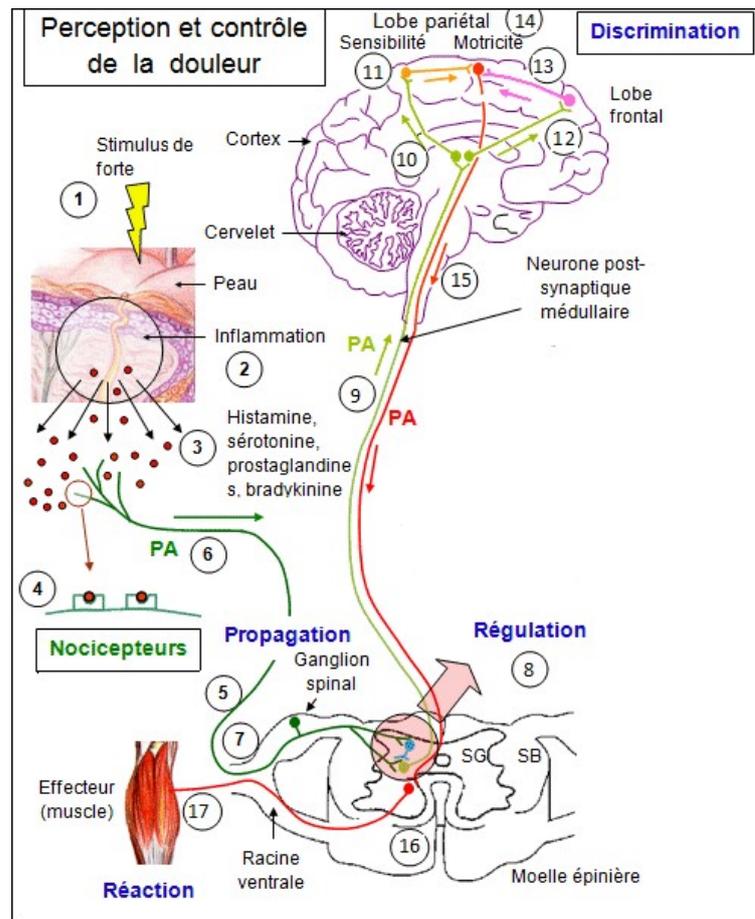
III- Discussion

- Annexe IX : La Kinect

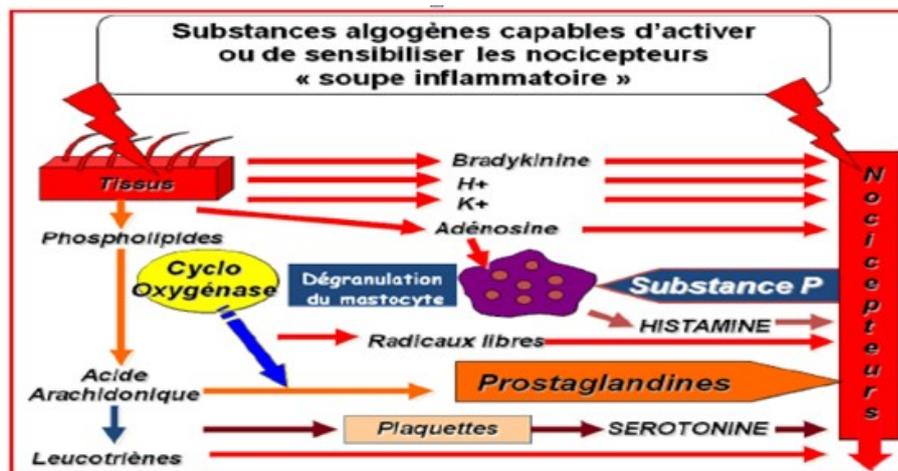
• Le protocole expérimental

- Annexe X : Formulaire de consentement
- Annexe XI : Notice d'information à destination des parents
- Annexe XII : Notice d'information à destination des enfants et adolescents
- Annexe XIII : Bilans d'entrée et de sortie
- Annexe XIV : Annexes du bilan d'entrée et de sortie
- Annexe XV : Déroulement de la séance de rééducation
- Annexe XVI : Tableau de la séance avec Kinect
- Annexe XVII : Tableau de la séance sans Kinect
- Annexe XVIII : Echelle de qualité de vie PedsQL 4.0 à destination des parents
- Annexe XIX : Echelle de qualité de vie PedsQL 4.0) destination des enfants

Annexe I : Circuit de la douleur

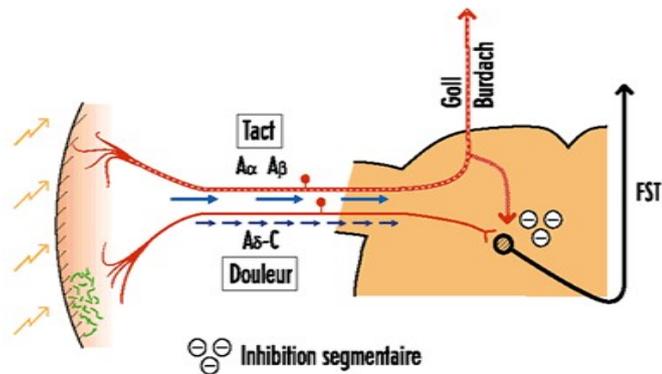


Annexe II : Synthèse de l'ensemble des substances à l'origine de l'inflammation neurogène

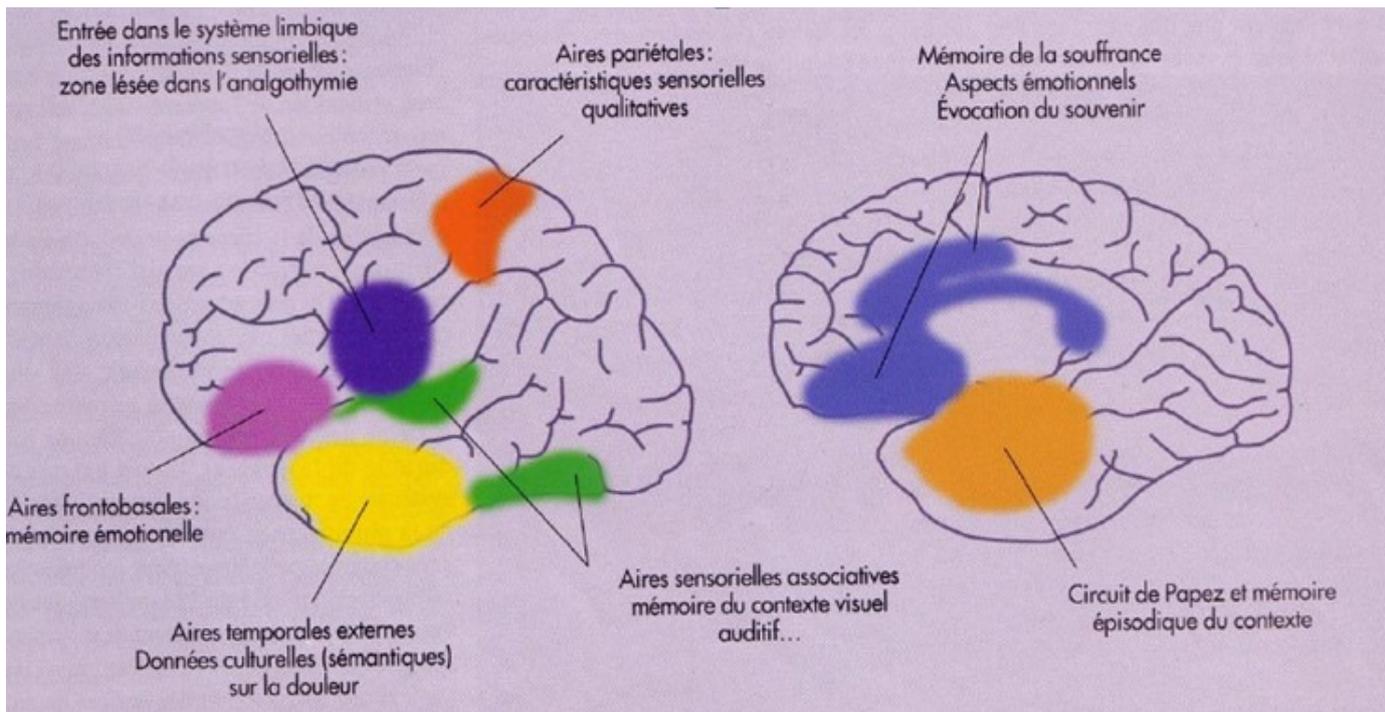


Annexe III : Mécanisme Gate Control

Inhibition segmentaire (corno postérieure de la moelle)



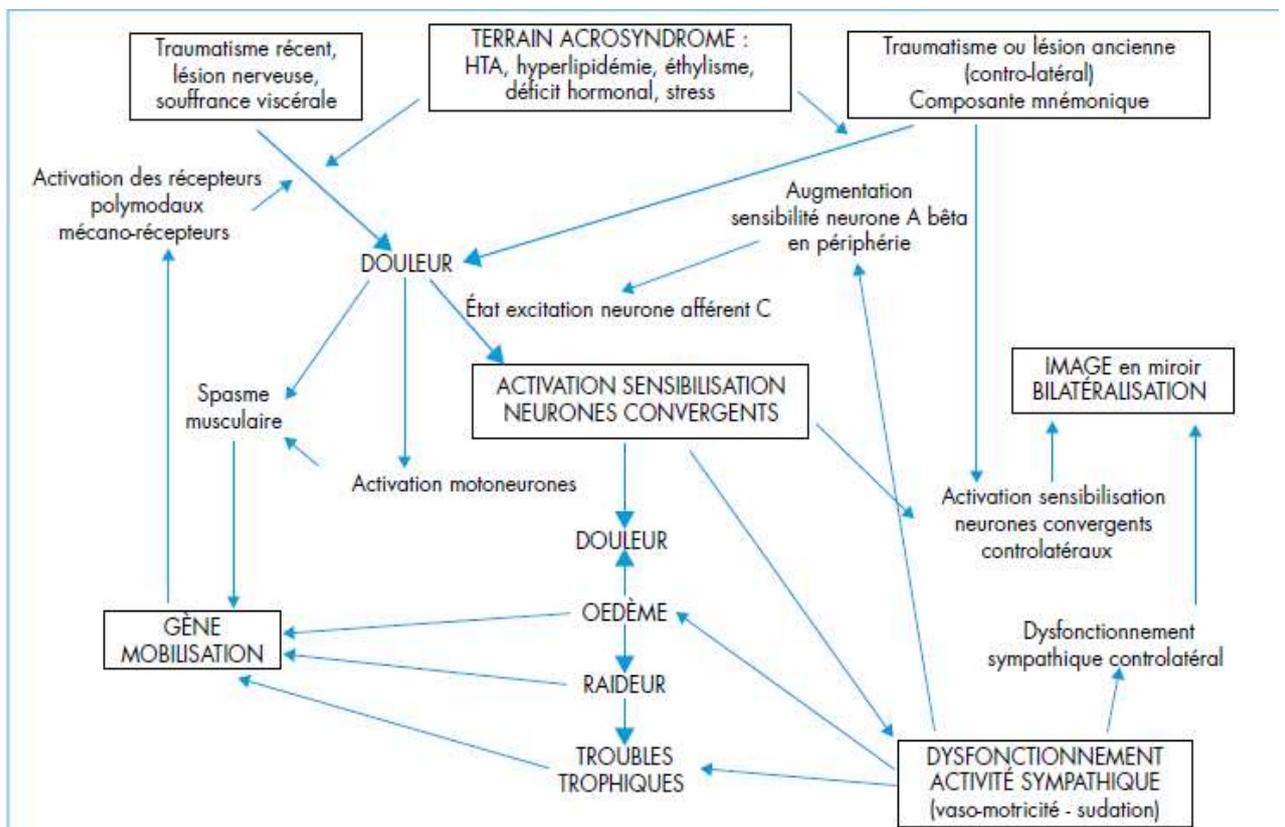
Annexe IV : Hypothèse sur lieux de stockage d'un événement douloureux et ses composantes



Annexe V : Hyperfixation à la scintigraphie



Annexe VI : Mécanismes d'apparition des symptômes suite au dysfonctionnement de l'activité sympathique



Annexe VII : Grille de lecture pour article thérapeutique

GRILLE DE LECTURE D'UN ARTICLE THERAPEUTIQUE

Titre et auteur de l'article: _____

Rev/Année/Vol/Pages _____

Thème de l'article :

	OUI	NON	?
1. Les objectifs sont clairement définis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Méthodologie de l'étude			
• L'étude est comparative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- l'étude est prospective	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- l'étude est randomisée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Le calcul du nombre de patients a été fait <i>a priori</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• La population de l'étude correspond à la population habituellement traitée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Toutes les variables cliniquement pertinentes sont prises en compte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• L'analyse statistique est adaptée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• L'analyse est faite en intention de traiter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Les résultats sont cohérents avec l'objectif de l'étude et tiennent compte d'éventuels effets secondaires	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Applicabilité clinique			
• La signification clinique est donnée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Les modalités de traitement sont applicables en routine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Commentaires :

Annexe VIII : Evaluation de la douleur par EVA au cours de l'étude de Dadure

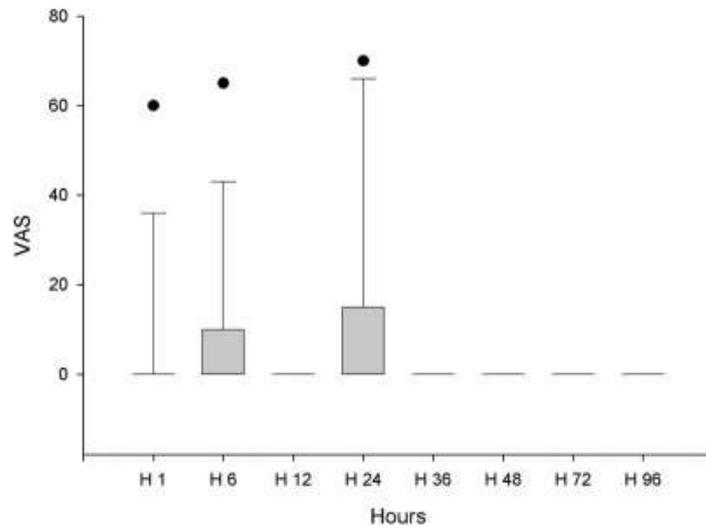


Fig. 1. Visual analog scale (VAS) values during physiotherapy. The *box* represents the 25th-75th percentiles; the *dark line* is the median. The *extended bars* represent the 10th-90th percentiles, and the *dark circles* represent values outside this range.

Annexe IX : La Kinect



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT :

Intérêt de la Kinect dans la prise en charge d'un syndrome douloureux régional complexe en milieu pédiatrique

Promoteur :.....

Nous soussignons, Mme:..... (nom, prénom) et/ou

Mr(nom, prénom),

parent(s) de :..... (NOM, prénom de l'enfant),

acceptons que notre enfant participe à l'étude sur l'intérêt de la Kinect dans la prise en charge d'un syndrome douloureux régional complexe en milieu pédiatrique. Nous certifions avoir lu et compris la notice d'information qui nous a été remise, dont nous avons obtenu la copie. Au préalable, une information orale a été donnée à notre enfant en notre présence.

Le Docteurdésigné comme investigateur,
Hôpital/CentreService

.....
Adresse :

.....
a répondu à toutes nos questions concernant l'étude. Nous pourrions à tout moment lui demander des informations complémentaires.

Nous avons eu le temps nécessaire pour réfléchir à notre implication et celle de notre enfant dans cette étude. Nous sommes conscients que la participation de notre enfant est entièrement volontaire et que cette étude n'engendrera aucun surcoût à notre charge. Nous pouvons à tout moment interrompre la participation de notre enfant à cette recherche sans motiver notre décision et sans qu'elle n'entraîne de conséquences ni sur la qualité des soins qui lui sont prodigués ni sur la relation que nous entretenons avec les soignants.

Nous avons compris que les données collectées à l'occasion de la recherche seront protégées dans le respect de la confidentialité.

Nous acceptons le traitement informatisé des données à caractère personnel concernant notre enfant dans les conditions prévues par la loi Informatique et liberté. Nous avons été informés de notre droit d'accès et de rectification des données concernant notre enfant.

Nous certifions que notre enfant est affilié au régime de la Sécurité Sociale.

Fait, à, le

Signature d'un ou des deux parent(s) : Signature de l'investigateur :

**NOTICE D'INFORMATION DESTINEE AUX TITULAIRES DE L'AUTORITÉ
PARENTALE
DES ENFANTS SUIVIS POUR UN SYNDROME DOULOUREUX REGIONAL
COMPLEXE**

**Intérêt de la Kinect dans la prise en charge d'un syndrome douloureux régional
complexe en milieu pédiatrique**

Investigateur :

Adresse :

Téléphone :

Madame, Monsieur,

Votre enfant est actuellement suivi dans le cadre d'un syndrome douloureux régional complexe (ou algoneurodystrophie). Je vous propose de faire participer votre enfant à une étude clinique portant sur l'intérêt de la Kinect dans la prise en charge d'un syndrome douloureux régional complexe.

Je vous remercie de bien vouloir prendre le temps nécessaire pour lire en détail ce formulaire d'information concernant cette étude. Il se peut que ce formulaire contienne certains mots que vous ne comprenez pas. Je répondrai volontiers à toutes les questions que vous pourriez avoir au sujet des procédures de l'étude ou de ce formulaire. Prenez le temps qu'il faut pour décider de la participation ou non de votre enfant à cette étude.

Si vous décidez de faire participer votre enfant à cette recherche, je vous demanderai de signer un formulaire de consentement. Cette signature confirmera que vous êtes d'accord pour qu'il participe à cette étude.

A. Contexte de l'étude

Le syndrome douloureux régional complexe (ou algoneurodystrophie) est une pathologie de plus en plus diagnostiquée dans le milieu pédiatrique. Elle se traduit par des douleurs importantes entraînant une impotence fonctionnelle et ayant un retentissement sur la qualité de vie. Cette maladie est peu fréquente pour ce type de population et les traitements, divers et variés, n'ont pas apporté de preuves réelles d'efficacité et restent inchangés.

La Kinect est un accessoire de Microsoft Xbox, comparable à la Wii, permettant au joueur d'évoluer dans un monde virtuel et de contrôler des jeux vidéo sans aucune manette ni périphérique autre que son propre corps.

Cette étude a pour objectif d'identifier les apports de la Kinect d'un point de vue physique, fonctionnel mais également au niveau de la qualité de vie par rapport à une prise en charge classique. Elle individualisera deux groupes de travail :

- un groupe témoin qui bénéficiera d'une rééducation dite classique, comme réalisée au centre depuis de nombreuses années,
- un groupe cible, qui effectuera les mêmes séances que le groupe témoin avec pour seule différence un temps "Kinect" à la place d'un travail fonctionnel.

Je précise que les deux groupes auront exactement la même durée de séance quotidienne (1h), à raison de cinq séances par semaine.

Il vous sera demandé de remplir un questionnaire sur la qualité de vie de votre enfant.

B. Objectifs de l'étude

La Kinect est un outil de plus en plus utilisé dans les centres de rééducation pour le travail de l'équilibre et de la coordination après accident vasculaire cérébral (AVC) mais également dans les établissements hospitaliers pour personne âgée dépendante (EHPAD) pour lutter contre la maladie d'Alzheimer.

Peu utilisée en milieu pédiatrique, je souhaite évaluer son impact dans trois dimensions du soin :

- l'aspect physique : objectiver l'apport de la Kinect dans la diminution de la douleur, l'amélioration des amplitudes articulaires, l'augmentation de la force musculaire,
- l'aspect fonctionnel : votre enfant a-t-il un meilleur équilibre après la séance ? A la fin de la rééducation ? Est-il plus à l'aise à la marche ?
- l'aspect psychologique : Se sent-il plus heureux au quotidien ? Parvient-il à mieux supporter sa pathologie ?

Comme pour votre enfant, nous allons proposer cette étude à l'ensemble des enfants atteints d'un syndrome douloureux régional complexe qui sont suivis au sein de notre structure.

C. Risques potentiels ou inconforts liés à l'étude

La participation de votre enfant à cette étude ne comporte aucun risque car elle consiste uniquement à évaluer l'intérêt d'un nouvel appareil de réalité virtuelle dans la rééducation par rapport à une prise en charge dite classique.

D. Bénéfices potentiels de l'étude

Je souhaite déterminer si la Kinect a un réel impact sur la rééducation de votre enfant, au niveau de ses capacités physiques et fonctionnelles, de son bien-être ainsi que sur la durée de sa prise en charge. Ainsi, selon les résultats de l'étude, la Kinect pourrait être une alternative intéressante dans l'arsenal thérapeutique des praticiens de santé.

E. Participation volontaire

La participation de votre enfant à cette étude est entièrement volontaire. Vous êtes libre de refuser de le faire participer ainsi que de mettre un terme à sa participation à l'étude à n'importe quel moment, sans encourir aucune responsabilité ni aucun préjudice de ce fait et sans que cela n'entraîne de conséquences sur la qualité des soins qui lui seront prodigués. Dans ce cas, vous devez informer le médecin investigateur de votre décision.

Dans le cas où vous retirez votre consentement, nous effectuerons un traitement informatique des données personnelles de votre enfant sauf opposition écrite de votre part.

Durant l'étude, vous seriez averti(e) par votre médecin investigateur, si des faits nouveaux pouvaient modifier votre volonté de participer à l'étude.

Les Autorités de Santé, votre médecin investigateur ou le promoteur peuvent décider de mettre un terme à la participation de votre enfant à l'étude à n'importe quel moment sans votre consentement préalable. Si cela devait se produire, vous en seriez averti et les raisons vous

seraient données.

F. Obtention d'informations complémentaires

A l'issue de l'étude, et à votre demande, vous pourrez être informé(e) des résultats globaux de la recherche par votre médecin investigateur.

G. Confidentialité et utilisation des données médicales

Dans le cadre de la recherche biomédicale à laquelle il vous est proposé de faire participer votre enfant, un traitement de ses données personnelles va être mis en œuvre pour permettre d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif de cette dernière, qui vous a été présenté.

Les données ainsi recueillies resteront confidentielles et ne seront en aucun cas divulguées par l'équipe médicale.

Aucun nom de famille ne sera écrit, et l'ensemble des visages seront floutés, dans un souci de confidentialité optimale.

Conformément aux dispositions de loi relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés (loi du 6 janvier 1978), vous disposez d'un droit d'accès et de rectification. Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées dans le cadre de cette recherche et d'être traitées.

Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire d'un médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L 1111-7 du Code de la Santé Publique.

Ces droits s'exercent auprès du médecin qui vous suit dans le cadre de la recherche et qui connaît votre identité.

**NOTICE D'INFORMATION DESTINEE AUX ENFANTS AGES DE 6 à 18 ans
SUIVIS DANS LE CADRE D'UN SYNDROME DOULOUREUX REGIONAL
COMPLEXE**

**Intérêt de la Kinect dans la prise en charge d'un syndrome douloureux régional
complexe en milieu pédiatrique**

Investigateur :

Adresse :

Téléphone :

Bonjour,

Nous te proposons dans le cadre de ta prise en charge au centre de participer à une étude basée sur l'intérêt de la Kinect dans la rééducation d'un syndrome douloureux régional complexe.

Cette étude a pour objectif d'identifier les apports de la Kinect d'un point de vue physique, fonctionnel mais également au niveau de la qualité de vie par rapport à une prise en charge classique. Elle individualisera deux groupes de travail :

- un groupe témoin qui bénéficiera d'une rééducation dite classique, comme réalisée au centre depuis de nombreuses années,

- un groupe cible, qui effectuera les mêmes séances que le groupe témoin avec pour seule différence un temps "Kinect" à la place d'un travail fonctionnel.

Les deux groupes auront exactement la même durée de séance quotidienne (1h) à raison de cinq séances par semaine.

Il sera demandé à tes parents et à toi de remplir des questionnaires sur ta qualité de vie de tous les jours, en plus des séances cinq fois par semaine.

Si tu décides de participer à cette recherche, tes parents et toi devrez signer un formulaire de consentement. Cette signature confirmera que tu es d'accord pour participer à cette étude.

Si tu ne veux pas participer à l'étude, cela ne changera pas ta prise en charge au sein du centre.

1- Pourquoi cette étude ?

Tu es suivi(e) dans le cadre d'un syndrome douloureux régional complexe qui est une pathologie de plus en plus diagnostiquée dans le milieu pédiatrique. Le syndrome douloureux régional complexe (ou algoneurodystrophie) est une maladie qui impacte ta vie quotidienne au niveau physique (douleur), fonctionnel (activités de la vie quotidienne) et moral (conséquences de ta douleur).

La Kinect est un accessoire de Microsoft Xbox, comparable à la Wii, te permettant d'évoluer dans un monde virtuel et de contrôler des jeux vidéo sans aucune manette ni périphérique autre que ton propre corps.

2- Objectifs de cette étude

La Kinect est un outil de plus en plus utilisé dans les centres de rééducation pour le travail de l'équilibre et de la coordination après accident vasculaire cérébral (AVC) mais également dans les établissements hospitaliers pour personne âgée dépendante (EHPAD) pour lutter contre la maladie d'Alzheimer.

Peu utilisée en milieu pédiatrique, nous souhaitons évaluer son impact dans trois dimensions du soin :

- l'aspect physique : la Kinect permet-elle de diminuer tes douleurs ? D'améliorer tes amplitudes articulaires ? D'augmenter ta force musculaire ?
- l'aspect fonctionnel : As-tu un meilleur équilibre après la séance ? A la fin de la rééducation ? Es-tu plus à l'aise dans la marche ?
- l'aspect mental : Te sens-tu plus heureux(se) dans ton quotidien ? Arrives-tu à mieux vivre avec ta maladie ?

3- Si je participe, que vais-je devoir faire ?

Que tu sois dans le groupe témoin ou le groupe cible, tu auras la même durée de séance et les mêmes actes de soins.

Si tu es dans le groupe cible, tu bénéficieras d'un temps "Kinect" qui te permettra de travailler ton équilibre, ta coordination, ta force musculaire à raison de 15 minutes par séance pendant les deux premières semaines puis 30 minutes les deux dernières semaines.

Si tu es dans le groupe témoin, tu travailleras également ton équilibre, ta coordination et ta force musculaire grâce aux moyens thérapeutiques utilisés par la plupart des centres de rééducation en France, qui peuvent être, par exemple, des parcours d'obstacles, du sport (basket, badminton, etc).

4- Est-ce que cette étude est risquée ?

Non, cette étude ne comporte aucun risque car elle consiste uniquement à évaluer l'intérêt d'un nouvel appareil de réalité virtuelle dans la rééducation par rapport à une prise en charge dite classique.

5- Suis-je obligé de participer ?

Ta participation à cette étude est entièrement libre et tu as le choix d'y participer ou non. Tu peux décider de ne pas y participer ou d'arrêter ta participation quand tu le souhaites, et cela ne changera pas tes relations avec le médecin qui te suit ou ton kinésithérapeute.

De la même façon un médecin peut décider d'interrompre ta participation à l'étude s'il s'avère nécessaire.

6- As-tu des questions ?

Si tu le souhaites, tu pourras poser tes questions aux soignants du centre qui y répondront ou me transmettront l'information pour que tu aies la meilleure réponse possible.

Annexe XIII : Bilans d'entrée et de sortie

BILAN D'ENTREE/SORTIE						
NOM	PRENOM		NE(E) LE	M - F		
ANAMNESE			CONDITIONS DE VIE			
ATCD (EXAMENS COMPL.)			APPAREILLAGE			
BILANS						
D O U L E U R	TYPE (Annexe 1) :		DN4	/10		
	LOCALISATION (Annexe 2)					
	INTENSITE:		EVA	/10		
	FREQUENCE :					
	FACTEURS:					
	- déclenchants					
	- aggravants					
	- soulageants					
TRAITEMENTS MEDICAMENTEUX						
- type (palier) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3			nom :			
- efficacité <input type="checkbox"/> O <input type="checkbox"/> N			AINS : <input type="checkbox"/> O <input type="checkbox"/> N			
C U T A N E T R O P H I Q U E V A S C U L A I R E	SYMPTOMES	OUI	NON	REMARQUES		
	OEDEME					
	TEMP. PEAU					
	SUDATION					
	CHANGEMENT COULEUR					
S E N S I B I L I T E	AMYOTROPHIE					
	SUPERFICIELLE			SI TROUBLES VOIR ANNEXE 3		
	PROFONDE					
A R T I C U L A I R E	QUALITATIF	OUI	NON	REMARQUES		
	BRUIT					
	RESSAUT					
	DOULEUR					
	QUANTITATIF					
	HANCHE :	F/E/ABD/ADD/RE/RI :				
	GENOU :	F/E :				
CHEVILLE :	FD/FP/PRO/SUPI/INV/EV :					

M U S C U L A I R E	MUSCLE	FORCE		REMARQUES		
		D	G			
	ILIO PSOAS					
	MOYEN FESSIER					
	GRAND FESSIER					
	ADDUCTEURS					
	ISCHIO-JAMBIERS					
	QUADRICEPS					
	TIBIAL ANTERIEUR					
	TIBIAL POSTERIEUR					
TRICEPS SURAL						
FIBULAIRES						
F O N C T I O N N E L	MARCHE			REMARQUES		
	PERIMETRE	:	M			
	BOÏTERIE	OUI	NON			
	DEROULEMENT du PAS	OUI	NON			
	VITESSE	CONFORTABLE :	SEC	RAPIDE : SEC		
	EQUILIBRE	YEUX OUVERTS		YEUX FERMES		REMARQUES
		D	G	D	G	
	BIPODAL pieds écartés					
	BIPODAL pieds joints					
	BIPODAL Fente AV					
	UNIPODAL					
	POINTE de PIED UNIPODAL					
	STABILITE FONCTIONNELLE	oui		non		REMARQUES
		D	G	D	G	
	Sautiller d'1 pied sur l'autre					
	Trotliner					
	sauter sur 2 pieds					
sauter sur 1 pied						
ESCALIER	OUI	NON	REMARQUES			
FLUIDITE						
RAMPES/AIDES TECHN.						

Annexe XIV : Annexes du bilan d'entrée et de sortie

• **Annexe 1 : d'évaluation des douleurs neuropathiques DN4**

QUESTIONNAIRE DN4 : un outil simple pour rechercher les douleurs neuropathiques

Pour estimer la probabilité d'une douleur neuropathique, le patient doit répondre à chaque item des 4 questions ci dessous par « oui » ou « non ».

QUESTION 1 : la douleur présente-t-elle une ou plusieurs des caractéristiques suivantes ?

	Oui	Non
1. Brûlure	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Sensation de froid douloureux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Décharges électriques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION 2 : la douleur est-elle associée dans la même région à un ou plusieurs des symptômes suivants ?

	Oui	Non
4. Fourmillements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Picotements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Engourdissements	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Démangeaisons	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION 3 : la douleur est-elle localisée dans un territoire où l'examen met en évidence :

	Oui	Non
8. Hypoesthésie au tact	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Hypoesthésie à la piqûre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTION 4 : la douleur est-elle provoquée ou augmentée par :

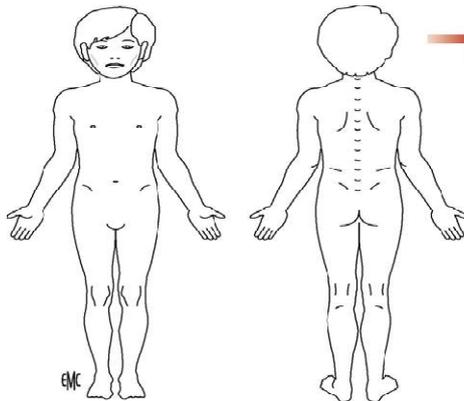
	Oui	Non
10. Le frottement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

OUI = 1 point

NON = 0 point

Score du Patient : /10

• **Annexe 2 : localisation de la douleur**



Dessin du bonhomme

Âge d'utilisation

- À partir de 4 ans.

Permet d'identifier

- Les localisations de la douleur, le nombre de localisations, l'intensité de la douleur.

Description

- L'enfant colorie les zones qui lui font mal.
- Si possible, l'enfant choisit d'abord une couleur différente pour 4 niveaux de couleur (un peu, moyen, beaucoup, très fort).

Spécificités

- Rester auprès de l'enfant quand il dessine. Les plus petits peuvent commencer par colorier là où ils ont mal, puis risquent de tout colorier par jeu.
- Ce dessin permet parfois de révéler des localisations douloureuses qui étaient passées inaperçues.

Ça fait mal : Choisir la couleur correspondant à l'intensité de la douleur puis colorier la zone du corps concernée

Un peu Moyen Beaucoup Très mal

Annexe XV : Déroulement de la séance de rééducation

1) Déroulement de la séance

La séance quotidienne dure 1 heure. Il existe deux tableaux pour les deux groupes différents : un pour le groupe témoin (sans Kinect) et un pour le groupe cible (avec Kinect).

Le groupe témoin bénéficie d'une séance de rééducation conventionnel.

Il est demandé au praticien de noter les actes réalisés et leur durée, ainsi que les éventuelles remarques (sur des événements non ordinaires, qui vous ont interpellé).

Le groupe cible a deux possibilités de séance différentes :

- si l'EVA en début de séance (avant réalisation d'actes thérapeutiques) est supérieur à 3, le patient a une séance avec un objectif essentiellement antalgique (techniques à voir suivant l'appréciation du patient, ce qui le soulage) ; pas de Kinect,

- si l'EVA est inférieur ou égal à 3, le patient bénéficie d'une séance classique et de la Kinect, à raison de 15 minutes les deux premières semaines, puis 30 minutes les deux dernières.

2) Arsenal thérapeutique

• Mobilisation

Préciser les articulations mobilisées et le type de mobilisation : passive, active aidée, active.

• Electrothérapie

Préciser si le patient a bénéficié de l'utilisation de TENS pendant la séance.

Au vu de la durée d'application du TENS, il pourra être proposé à l'enfant de le réaliser au domicile ou avant/après les séances.

• Renforcement musculaire

Préciser le(s) groupe(s) musculaire(s) travaillé(s).

• Thermothérapie

Il existe plusieurs possibilités antalgiques selon le ressenti des patients :

- les applications de froid (vessie de glace),

- de chaleur (infra-rouge, parafangothérapie)

- l'alternance des deux par la technique des bains écossais.

PROTOCOLE DE REALISATION DES BAINS ECOSSAIS

Durée : 25 minutes

Température de l'eau chaude : de 38° à 43° selon la tolérance du patient

Température de l'eau froide : 14° à 18°, il ne faut pas appliquer de glaçons

Chronologie : Débuter par un bain chaud de 5 minutes, Alternier les bains froids de 1 minute avec des bains chauds de 4 minutes et finir par un bain froid de 5 minutes.

Au vu du temps de prise en charge des patients (1h) et du manque de temps des thérapeutes, il peut être proposé aux enfants de réaliser les bains écossais à leur domicile, suivant le schéma détaillé ci-dessus.

• Fonctionnel

Essayer d'être précis sur les activités fonctionnelles réalisées car c'est le paramètre principal qui sera évalué lors de mon mémoire de recherche.

Quatre domaines sont évalués (les mêmes que le bilan), à savoir la marche, l'équilibre, les escaliers et la stabilité fonctionnelle.

Annexe XVI : Tableau de la séance avec Kinect

DATE :				
TABLEAU DES ACTES THERAPEUTES REALISES				
INTERVENTION	OUI	NON	DUREE	REMARQUES
MASSAGE				
MOBILISATION				
ELECTROTHERAPIE				
RENFORCEMENT MUSC				
THERMOTHERAPIE				
KINECT				
FONCTIONNEL	MARCHE			
	EQUILIBRE			
	ESCALIERS			
	STAB FONC.			

Annexe XVII : Tableau de la séance sans Kinect

DATE :				
TABLEAU DES ACTES THERAPEUTES REALISES				
INTERVENTION	OUI	NON	DUREE	REMARQUES
MASSAGE				
MOBILISATION				
ELECTROTHERAPIE				
RENFORCEMENT MUSC				
THERMOTHERAPIE				
FONCTIONNEL	MARCHE			
	EQUILIBRE			
	ESCALIERS			
	STAB FONC.			

Annexe XVIII : Echelle de qualité de vie PedsQL 4.0 à destination des parents

Remarque : les deux questionnaires qui suivent sont destinés aux enfants entre 8 et 12 ans. Les versions 5/7 ans et 13/18 ans pour les parents et les enfants sont disponibles sur Internet.

INSTRUCTIONS	
<p>A la page suivante, vous trouverez une liste de choses qui peuvent représenter un problème pour votre enfant. Veuillez indiquer si ces choses ont été un problème pour votre enfant au cours du MOIS DERNIER en entourant :</p>	
0	si ce n'est jamais un problème
1	si ce n'est presque jamais un problème
2	si c'est parfois un problème
3	si c'est souvent un problème
4	si c'est presque toujours un problème
<p>Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses. Si vous ne comprenez pas une question, n'hésitez pas à demander des explications.</p>	
<p>N.B. : lorsque l'enfant n'est pas scolarisé, ne pas remplir la partie concernant l'école.</p>	

ATTENTION : Si la raison qui vous empêche de remplir ce questionnaire n'est pas liée à l'âge du client/patient, pouvez-vous préciser cette raison dans un courrier adressé au service (helpdesk) Cotrov, du SPF Santé Publique, pour le monitoring patients (cotrov@health.fgov.be).

Au cours du **MOIS DERNIER**, les choses suivantes ont-elles représenté un **problème** pour votre enfant ?

Capacité Physique (problèmes avec...)	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. Marcher plus loin qu'un pâté de maisons (100 m)	0	1	2	3	4
2. Courir	0	1	2	3	4
3. Faire du sport ou de l'exercice	0	1	2	3	4
4. Soulever un objet lourd	0	1	2	3	4
5. Prendre un bain ou une douche tout(e) seul(e)	0	1	2	3	4
6. Aider dans la maison	0	1	2	3	4
7. Ressentir des douleurs	0	1	2	3	4
8. Manquer d'énergie	0	1	2	3	4
Etat Emotionnel (problèmes avec...)	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. Avoir peur	0	1	2	3	4
2. Se sentir triste ou déprimé(e)	0	1	2	3	4
3. Etre en colère ou énervé(e)	0	1	2	3	4
4. Avoir du mal à dormir	0	1	2	3	4
5. S'inquiéter de ce qui va lui arriver	0	1	2	3	4
Relations avec les Autres (problèmes avec...)	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. S'entendre avec les autres enfants	0	1	2	3	4
2. Les autres enfants ne veulent pas être son ami	0	1	2	3	4
3. Les autres enfants se moquent de lui/d'elle	0	1	2	3	4
4. N'est pas capable de faire des choses que d'autres enfants de son âge savent faire	0	1	2	3	4
5. Suivre le rythme des autres enfants quand il/elle joue avec eux	0	1	2	3	4
Activités scolaires (problèmes avec...)	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. Etre attentif(-ive) en classe	0	1	2	3	4
2. Oublier des choses	0	1	2	3	4
3. Réussir à faire tout son travail scolaire	0	1	2	3	4
4. Rater l'école parce qu'il/elle ne se sent pas bien	0	1	2	3	4
5. Rater l'école parce qu'il/elle va chez le médecin ou à l'hôpital	0	1	2	3	4

Annexe XIX : Echelle de qualité de vie PedsQL 4.0) destination des enfants

INSTRUCTIONS

A la page suivante, il y a une liste de choses qui peuvent te poser problème. Dis-moi pour chacune de ces choses si cela a été un problème pour toi au cours du MOIS DERNIER en entourant :

- 0 si ce n'est jamais un problème
- 1 si ce n'est presque jamais un problème
- 2 si c'est parfois un problème
- 3 si c'est souvent un problème
- 4 si c'est presque toujours un problème

Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses.
Si tu ne comprends pas une question, n'hésite pas à demander des explications.

N.B. : si tu n'es pas scolarisé, il ne faut pas remplir la partie concernant l'école.

Au cours du **MOIS DERNIER**, les choses suivantes ont-elles été un **problème** pour toi ?

Problèmes avec ma Santé et mes Activités	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. J'ai des difficultés à marcher plus loin que le coin de la rue	0	1	2	3	4
2. J'ai des difficultés à courir	0	1	2	3	4
3. J'ai des difficultés à faire du sport ou de l'exercice	0	1	2	3	4
4. J'ai des difficultés à soulever un objet lourd	0	1	2	3	4
5. J'ai des difficultés à prendre un bain ou une douche tout(e) seul(e)	0	1	2	3	4
6. J'ai des difficultés à aider dans la maison	0	1	2	3	4
7. Je ressens des douleurs	0	1	2	3	4
8. Je manque d'énergie	0	1	2	3	4
Problèmes avec mes Sentiments	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. J'ai peur	0	1	2	3	4
2. Je me sens triste	0	1	2	3	4
3. Je suis en colère ou énervé(e)	0	1	2	3	4
4. J'ai du mal à dormir	0	1	2	3	4
5. Je m'inquiète de ce qui va m'arriver	0	1	2	3	4
Problèmes avec mes Relations avec les Autres	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. J'ai du mal à m'entendre avec les autres enfants	0	1	2	3	4
2. Les autres enfants ne veulent pas être mes amis	0	1	2	3	4
3. Les autres enfants se moquent de moi	0	1	2	3	4
4. Je ne sais pas faire certaines choses que les autres enfants de mon âge savent faire	0	1	2	3	4
5. J'ai du mal à suivre les autres enfants quand je joue avec eux	0	1	2	3	4
Problèmes avec L'Ecole	Jamais	Presque jamais	Parfois	Souvent	Presque toujours
1. J'ai du mal à être attentif(-ive) en classe	0	1	2	3	4
2. J'oublie des choses	0	1	2	3	4
3. J'ai du mal à faire tout mon travail de classe	0	1	2	3	4
4. Je rate l'école parce que je ne me sens pas bien	0	1	2	3	4
5. Je rate l'école pour aller chez le docteur ou à l'hôpital	0	1	2	3	4

NOM : DOUCET

PRENOM : ROMAIN

TITRE : Place de la réalité virtuelle dans la prise en charge de la douleur du syndrome douloureux régional complexe en milieu pédiatrique : revue de littérature

Abstract

The Complex Regional Pain Syndroms (CRPS), once known as reflex sympathetic dystrophy, are ill-understood and frequently unrecognized pathologies, particularly among the child population. The chronicity of pain stimulates the sympathetic and central nervous system, which is the cause of vasomotor, trophic, sensitive and motor disorders, stimulation activated by phenomena of central and peripheral consciousness-raising.

The diversity of clinic signs encountered lead to a multiplication of existing treatments. The population aimed by these treatments is generally adult and its efficacy is not or lightly proved when the subject is a child. Goal of most of them is analgesia and do not take in account the cortical reorganization involved in the pain perpetuation.

Regarding its foreseen therapeutic possibilities, virtual reality represents a new way of study. Its definition is based by the accomplishment of sensory, motor and cognitive activities in a virtual environment.

The purpose of this publication is to determine if the use of virtual reality by a child affected with a SDRC allows a decrease of the pain during the immersion in the virtual environment and if this analgesia can be portable in patient's daily life.

Key-words: child, teenager, pain, Complex Regional Pain Syndrom, virtual reality.

Résumé

Les syndromes douloureux régionaux complexes (SDRC) sont des pathologies mal comprises et souvent non reconnues, surtout chez l'enfant. La chronicisation de la douleur, par des phénomènes de sensibilisations centrale et périphérique, stimule les système nerveux sympathique et central, à l'origine de troubles vasomoteurs, trophiques, sensitifs et moteurs.

La diversité de tableaux cliniques rencontrés a entraîné la multiplication des traitements proposés. Ils sont principalement destinés à une patientèle adulte et leur efficacité n'est pas ou peu prouvée dans la prise en charge du SDRC de l'enfant.

La plupart d'entre eux ont pour objectif l'analgésie et ne prennent pas en compte la réorganisation corticale, participant à la pérennisation des douleurs.

La réalité virtuelle représente un nouvel objet de recherche de par les possibilités thérapeutiques qu'elle laisse entrevoir. Elle se définit par la réalisation d'activités sensori-motrices et cognitives dans un environnement virtuel.

L'objectif de cette publication est de déterminer si l'utilisation de la réalité virtuelle chez un enfant atteint de SDRC permet une diminution des douleurs pendant l'immersion en environnement virtuel et si cette analgésie est transférable dans le quotidien du patient.

Mots-clés : enfant, adolescent, douleur, syndrome douloureux régional complexe, réalité virtuelle.

INSTITUT DE FORMATION MASSEURS KINESITHERAPEUTES :

22 avenue Camille Desmoulins 29238 BREST CEDEX 3

TRAVAIL ECRIT DE FIN D'ETUDES – 2013/2016