



HAL
open science

“L’efficacité de la réalité virtuelle dans le traitement des douleurs fantômes chez les amputés”

Maureen Battaglia

► **To cite this version:**

Maureen Battaglia. “L’efficacité de la réalité virtuelle dans le traitement des douleurs fantômes chez les amputés”. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03353866

HAL Id: dumas-03353866

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03353866>

Submitted on 24 Sep 2021

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.

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLES DES SCIENCES ET DE LA RÉADAPTATION
FORMATION MASSO-KINÉSITHÉRAPEUTE

**« L'EFFICACITÉ DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE
DANS LE TRAITEMENT DES DOULEURS
FANTÔMES CHEZ LES AMPUTÉS »**

BATTAGLIA Maureen
Directrice de mémoire : SESE Véronique

Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements à l'ensemble des membres de l'IFMK de Marseille pour leur accompagnement durant ces quatre années d'étude. Je les adresse également à l'ensemble des différents tuteurs de stage, que j'ai eu la chance de rencontrer pendant mon cursus. Je les remercie pour leur bienveillance et pour tout ce qu'ils m'ont appris, me préparant au mieux au monde professionnel.

Je tiens également à adresser mes plus sincères remerciements et profonde reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail de fin d'étude :

À Mme. SESE Véronique, masseur-kinésithérapeute D.E, professeur à l'IFMK de Marseille, et ma directrice de mémoire. Ma sincère gratitude pour son implication et votre aide dans la rédaction de ce mémoire.

À ma maman, pour avoir autant pris soin de moi tout au long de ma scolarité, pour sa patience, pour son soutien à toute épreuve dans ma vie étudiante, pour m'avoir préparée mes thés à chaque petite crise de stress.

À mon papa, pour ses encouragements à toutes épreuves, ainsi que sa positivité dans la rédaction de cet écrit. Je le remercie également pour ses supers goûters préparés avec amour pendant mes périodes de révision.

À ma sœur, pour son soutien et son énergie, mon rayon de soleil.

À mon petit ami, pour avoir supporté mes sautes d'humeurs pendant cette dernière année.

À mes précieux amis, Mélanie, Estelle, Aurélie, Nicolas, Manon, Théo, pour leur amitié, leur soutien, leurs encouragements, et tout ce qu'ils m'ont apporté durant mon parcours supérieur et aux moments passés avec eux. Je vous remercie du fond du cœur.

Je remercie également mes amis kinés, Lorène, Camille, Jonathan, Lucie, Marine, Albane pour ces quatre années incroyables à leurs côtés, pour tout le soutien et l'entre-aide que nous nous sommes apportés. Pour tous ces souvenirs créés pendant ces années.

Je remercie particulièrement mon amie et binôme de tp à temps partiel, Laura pour toute son aide et son investissement sans faille dans mon mémoire. Sans elle, la rédaction de ce mémoire n'aurait pas été celle d'aujourd'hui.

Un énorme merci pour tout ce que vous avez fait pendant ces années d'études, dans ma vie et pour les années à venir.

Je remercie également toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à mon évolution en tant que jeune femme pendant toutes ces années.

TABLES DES MATIÈRES

1	<u>INTRODUCTION.....</u>	<u>1</u>
1.1	GENERALITES.....	1
1.1.1	DEFINITION.....	1
1.1.2	PHYSIOPATHOLOGIE	1
1.1.2.1	Étiologies.....	2
1.1.2.2	Le choix du niveau d’amputation	5
1.1.3	DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES	6
1.1.4	LES COMPLICATIONS.....	6
1.2	LA DOULEUR FANTOME.....	7
1.3	L’HOMONCULUS DE PENFIELD	8
1.4	LA REALITE VIRTUELLE.....	10
1.4.1	L’IMMERSION.....	11
1.4.2	L’INTERACTION.....	11
1.4.3	LES CONTINGENCES SENSORI-MOTRICES	12
1.4.4	LES ILLUSIONS	12
1.5	PROBLEMATIQUE	13
2	<u>METHODE.....</u>	<u>15</u>
2.1	CRITERES D’ELIGIBILITE DES ETUDES	15
2.1.1	LE SCHEMA D’ETUDE.....	15
2.1.2	LA POPULATION ET LA PATHOLOGIE ETUDIEES.....	15
2.1.3	INTERVENTION, STRATEGIE THERAPEUTIQUE ET COMPARATEUR.....	16
2.1.4	LES CRITERES DE JUGEMENT	16
2.2	METHODOLOGIE DE RECHERCHE DES ETUDES	17
2.2.1	SOURCES DOCUMENTAIRES.....	17
2.2.2	ÉQUATION DE RECHERCHES.....	18
2.3	METHODE D’EXTRACTION ET D’ANALYSE DES DONNEES	18
2.3.1	EXTRACTION DES DONNEES PAR RAPPORT AUX SUJETS DES ETUDES	19
2.3.2	EXTRACTION DES DONNEES PAR RAPPORT AUX PROTOCOLES DES ETUDES	19
2.3.3	L’EVALUATION METHODOLOGIQUE DES ETUDES SELECTIONNEES.....	19
2.3.4	METHODE ET SYNTHESE DES RESULTATS	19
3	<u>RESULTATS.....</u>	<u>21</u>
3.1	DESCRIPTION DES ETUDES.....	21
3.1.1	LE DIAGRAMME DE FLUX	21
3.1.2	LES CARACTERISTIQUES DES ETUDES EXCLUES	22
3.1.3	LES CARACTERISTIQUES DES ETUDES INCLUES	23
3.1.3.1	Article 1 : A virtual reality intervention for the treatment of phantom limb pain : development and feasibility results, Rutledge et al.	25
3.1.3.2	Article 2 : Individualized Augmented reality training reduces phantom pain and cortical reorganization in amputees : a proof of concept study, Thogersen et al.....	26
3.1.3.3	Article 3 : An investigation into the effect of a virtual reality system on phantom limb pain : a pilot study, Kulkarni et al.	27

3.1.3.4	Article 4 : the treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality : three cases studies, Murray et al.....	28
3.1.3.5	Article 5 : Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain, from stump motion to agency and analgesia, Cole et al.	29
3.1.3.6	Article 6 : Training with virtual visual feedback to alleviate phantom limb pain, Mercie et Sirigu.	30
3.2	RISQUES DE BIAIS DES ETUDES INCLUSES	31
3.2.1	GRILLE D'ANALYSE UTILISEE : NEWCASTLE OTTAWA SCALE	31
3.3	EFFETS DE L'INTERVENTION SUR LES CRITERES DE JUGEMENT	32
3.3.1	ANALYSES STATISTIQUES DES RESULTATS PAR ETUDE.....	33
3.3.1.1	Article 1 : A virtual reality intervention for the treatment of phantom limb pain : development and feasibility results.	33
3.3.1.1	Article 2 : Article 2 : Individualized Augmented reality training reduces phantom pain and cortical reorganization in amputees : a proof of concept study.....	33
3.3.1.2	Article 3 : An investigation into the effect of a virtual reality system on phantom limb pain : a pilot study.....	35
3.3.1.3	Article 4 : the treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality : three cases studies.	36
3.3.1.4	Article 5 : Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain, from stump motion to agency and analgesia.	36
3.3.1.5	Article 6 : Training with virtual visual feedback to alleviate phantom limb pain	37
4	<u>DISCUSSION</u>	<u>38</u>
4.1	ANALYSE DES PRINCIPAUX RESULTATS	38
4.2	APPLICABILITE DES RESULTATS EN PRATIQUE CLINIQUE	40
4.2.1	RAPPORTS EFFETS POSITIFS ET NEGATIFS	40
4.2.2	COUTS ET EFFICACITE.....	41
4.3	QUALITE DES PREUVES.....	41
4.4	BIAIS POTENTIEL DE LA REVUE	42
4.4.1	BIAIS DE LA REVUE (ECHELLE AMSTAR).....	42
4.4.2	ANALYSE CRITIQUE DE LA REVUE	43
5	<u>CONCLUSION</u>	<u>46</u>
6	<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>47</u>
7	<u>ANNEXES</u>	<u>50</u>

1 Introduction

1.1 Généralités

Les premières amputations ont été pratiquées avant Jésus-Christ, des guérisons étaient obtenues malgré des notions d'asepsie rudimentaires [1]. Au moment du Moyen Âge, il y a une éclipse de la chirurgie car nous ne retrouvons pas d'auteur, ni de texte important dans ce domaine, ce n'est qu'au XI siècle que des écrits apparaissent [2].

Une attitude et une réflexion sont présentes par rapport à l'approche extérieure du corps et à son intégrité au XIII^{ème} et XIV^{ème} siècle. Pour Boniface, l'amputation accélère la décomposition du corps au Moyen Âge [2].

Nous devons appliquer à cette chirurgie d'amputation les mêmes règles rigoureuses qu'à toutes chirurgies car le pronostic vital se retrouve parfois en jeu, le pronostic fonctionnel se retrouve quant à lui toujours en jeu [1].

1.1.1 Définition

L'amputation est « l'ablation d'un membre ou d'une autre structure du corps ». Elle nécessite une opération pour retirer le membre affecté [3].

Elle peut être ouverte (sans sutures, moins commune) ou fermée (avec suture, plus commune). Typiquement, l'amputation ouverte réduit le risque d'infection et prolonge le temps de récupération, tandis que l'amputation fermée réduit le temps de récupération et augmente le risque d'infection [3].

Les causes d'une amputation sont nombreuses. Malheureusement, elles laissent des séquelles fonctionnelles importantes. Les amputations se différencient par leur emplacement sur le corps : au niveau du membre inférieur ou au niveau du membre supérieur. Également, elles se distinguent du fait qu'elles sont mineures (en distale) ou majeures (en proximale) [3].

1.1.2 Physiopathologie

Une amputation est une opération chirurgicale qui consiste à enlever une partie du corps ou une partie d'un membre. L'indication médicale est posée lorsque la région touchée ne peut pas être conservée [4].

Cependant, il faut noter que ce geste chirurgical est majeur tant sur le plan psychologique qu'organique. Elle est toujours ressentie comme un événement pénible pour le patient [1].

Les causes d'une amputation sont :

- L'insuffisance artérielle des membres inférieurs : les artères de gros et moyen calibre sont rétrécies ou bouchées. Il n'y a alors plus suffisamment de sang et d'oxygène qui parviennent à l'extrémité du membre. Le diabète, le tabagisme et l'hypertension artérielle en sont les principales raisons.
- Certaines infections graves touchant l'os et les tissus mous.
- Les accidents de la route, du travail, domestiques... [4].
- Les tumeurs [5].

L'amputation est rarement une urgence sauf en cas d'infection non contrôlable ou dans certains types de traumatismes [4].

Qu'il s'agisse d'une amputation traumatique, infectieuse, vasculaire et tumorale, il convient de savoir poser à temps l'indication d'amputation afin de ne pas faire courir de risque vital au patient. La qualité du moignon et le devenir fonctionnel en dépend [1].

Le premier temps doit être consacré à la préparation psychologique du patient et de la famille. Ce temps est parfois écourté à l'extrême lorsque le pronostic vital est en jeu.

1.1.2.1 Étiologies

Il existe des amputations dites « mineures » ou « majeures » [3].

Au niveau du membre inférieur, les amputations inférieures mineures représentent toutes les parties distales vers le pied (comme les orteils par exemple). Les amputations inférieures majeures représentent toutes les amputations proximales et n'incluent pas les pieds (comme par exemple les amputations transtibiales et transfémorales) [3].

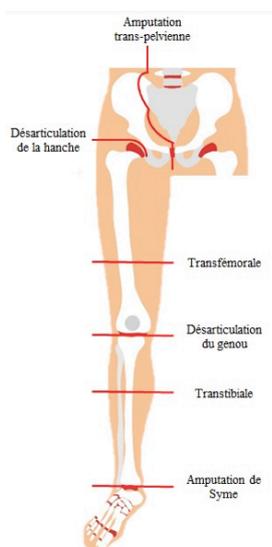


Figure 1 : les amputations mineures et majeures du membre inférieur.

Concernant le membre supérieur, les amputations supérieures mineures incluent la main ainsi que toutes les composantes de la main, comme les doigts par exemple. Pour les amputations supérieures majeures, elles incluent tout ce qui est proximale jusqu'à la main comme les transradiales et les transhumérales [3].

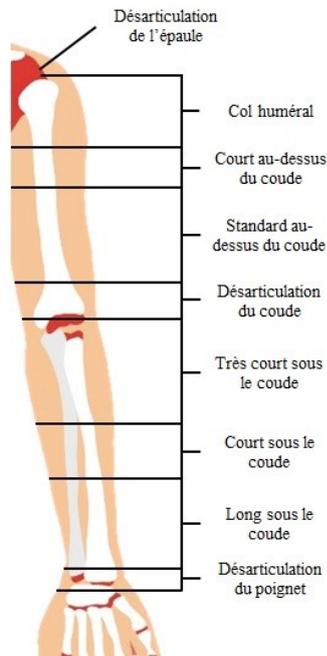


Figure 2 : les amputations mineures et majeures du membre supérieur.

Concernant les quatre grands types d'indications d'amputation :

❖ Les cas de pathologies vasculaires :

« La présence de lésion vasculaire irréparable est la seule indication absolue concernant une amputation » [5].

Une amputation du membre inférieur est pratiquée suite à une insuffisance artérielle dans 92% des cas, et le diabète en est la cause dans plus de 50% des cas [5]. Cependant, grâce aux progrès chirurgicaux et à une meilleure prise en charge des artérites, le nombre des amputations du membre inférieur a diminué [6].

L'amputation peut être aussi une conséquence des artériopathies oblitérantes des membres inférieurs (AOMI). En effet si elle n'est pas enrayée par un traitement strict et un suivi rigoureux avec des mesures d'hygiène de vie, cette artériopathie va amener à des situations invalidantes et diminuer de manière importante l'espérance de vie. Cette maladie touche 5% des moins 60 ans et 20% au-delà des 65-70 ans [7].

Pour éviter l'apparition de ces maladies vasculaires, nous pouvons modifier certains facteurs au niveau de l'hygiène de vie :

- Arrêter de fumer, ou diminuer la consommation de tabac
- Avoir une alimentation équilibrée, éviter les aliments trop gras, trop sucrés ou trop salés
- Avoir une activité physique régulière
- Faire baisser le taux sanguin de cholestérol
- Apprendre à maîtriser la glycémie
- Si nécessaire prendre un traitement antiagrégant plaquettaire [8].

❖ Les cas de pathologies traumatiques :

Il représente 8% des cas d'amputation [5]. Pour cette pathologie, il se pose le problème de l'amputation immédiate ou de la tentative de sauvetage du membre avec un geste orthopédique éventuellement.

L'indication est posée en présence :

- D'une nécrose surinfectée
- Douleurs incontrôlables
- Infection engageant le pronostic vital :
 - Abscess étendu sur la jambe
 - Arthrites septiques multiples
 - Fasciite nécrosante
- Un ou plusieurs ulcères avec potentiel de guérison insuffisant
- Suite à un traumatisme délabrant et irréparable.

Les causes traumatiques à l'origine d'une amputation sont bien plus faibles que les causes vasculaires. Cependant, les traumatismes sont les causes les plus répandues chez la jeune population d'amputés qui est principalement composée d'hommes.

❖ Les cas de pathologies infectieuses :

Le problème rencontré dans ces pathologies infectieuses est l'opportunité ou non de l'amputation. L'amputation est déterminée par l'importance de la gêne fonctionnelle et les potentialités thérapeutiques (possibilité de mise à plat, absence totale ou partielle d'efficacité des antibiotiques ou des antiseptiques) [9].

❖ Les cas de pathologies tumorales :

C'est l'une des indications les plus faibles en terme d'amputation.

Avant d'envisager le geste radical qui est l'amputation, il est nécessaire et indispensable de faire un diagnostic anatomo-pathologique rapide. Dans ces pathologies, nous retrouvons les sarcomes et les ostéosarcomes [1].

1.1.2.2 Le choix du niveau d'amputation

La décision d'amputation n'est pas toujours une nécessité absolue mais la solution qui pourra obtenir le meilleur résultat fonctionnel. Le choix du niveau d'amputation a pour objectif d'optimiser les chances de guérison et la fonctionnalité du membre concerné. À chaque niveau d'amputation nous rencontrons un retentissement fonctionnel et psychologique.

Au niveau du membre inférieur, il y a quatre types principaux d'amputations qui sont réalisés :

- L'amputation d'orteil : exérèse de P3-P2 ou P3-P2-P1, en transosseux ou par désarticulation avec exérèse du cartilage et réalisation d'un lambeau postérieur et antérieur. L'abrasion du cartilage est réalisée quand celui-ci se situe au niveau d'articulation non soumise à des contraintes de pression.
- L'amputation trans-métatarsienne : elle est réalisée plus ou moins en postérieur, au plus bas à la base des métatarsiens ou à la partie moyenne des cunéiformes. Les lambeaux postérieurs et antérieurs doivent être de taille suffisante pour permettre la couverture des tranches de section.
- L'amputation de la jambe : elle doit être la plus basse possible, afin d'obtenir le bras de levier le plus long.
- L'amputation de la cuisse : elle doit être la plus distale que possible, c'est-à-dire la plus proche du pied que possible [1].

L'orthoprothésiste aura pour charge d'essayer de répartir, sur la plus grande surface possible, les forces qui s'exercent entre le moignon et l'appareil, grâce à une emboîture de contact bien adapté et à limiter les contraintes en alignant correctement les éléments prothétiques sous-jacents, « le plus long n'est pas toujours le mieux » parce que l'appareillage possède ses contraintes.

Le niveau chirurgical est le résultat d'un compromis entre le potentiel de cicatrisation et la préservation de l'autonomie du patient. Plus le niveau de coupe est distal meilleur sera le pronostic fonctionnel mais les risques de complication et de ré-opération seront importants.

Au niveau du membre supérieur, les principes restent sensiblement les mêmes. Il y a deux notions importantes qui interviennent dans la prise en charge du patient et dans la prise de décision d'une amputation éventuelle :

- La partie à amputer n'est pas soumise à des compressions
- Est-ce qu'il existe un rôle fonctionnel qui incite à rester extrêmement conservateur.

Le but recherché est de garder une pince de préhension, il faut donc associer des chirurgies reconstructives. Les amputations digitales sont les plus fréquentes [1].

1.1.3 Données épidémiologiques

Toutes les données épidémiologiques énoncées dans ce mémoire proviennent d'une étude réalisée par monsieur André et monsieur Paysant. Cette étude a été réalisée en 2006, et les chiffres sont issues d'études étrangères (Royaume-Uni, États-Unis, Australie).

En France la population générale est de 62 324 000 habitants selon l'INSEE. Nous retrouvons 40 000 amputés dont 5000 nouveaux amputés par an, la prévalence est donc 0,7‰.

L'incidence est de 0,17‰, concernant cela notons également que les amputations pour raison vasculaire sont de 82%, traumatique 16,4%, tumorale 0,9% et congénitale 0,8%.

Le ratio Homme/Femme est de 2,23/1, donc les hommes sont plus touchés que les femmes.

En moyenne les membres inférieurs sont touchés dans 95% des cas contre 5% pour les membres supérieurs. Les plus de 75 ans représente 29% des amputés, la tranche d'âge des 65-74 ans représente 25% et les 16-54 ans représente 23%.

Pour le membre inférieur, les amputations traumatiques sont la 1^{ère} cause chez les 20-50 ans, ce qui est significativement plus élevé que tous les autres pays.

Les circonstances sont :

- Mécanique 43,6%
- Appareil motorisé 30,9%
- Automobiles 4%
- Armes à feu 9,4%. [10]

Les amputations du membre inférieur sont également une complication grave du diabète :

- Orteil 44%
- Pied 19%
- Jambe 19%
- Cuisse 18%. [11]

1.1.4 Les complications

Dans toutes les amputations nous sommes confrontés à des complications :

- Les douleurs de moignon constituent l'un des principaux facteurs contribuant à diminuer la qualité de vie des patients amputés. La mauvaise adaptation du manchon de la prothèse provoquant des appuis focaux excessifs sont les douleurs les plus fréquentes. Elles sont souvent reproductibles à la palpation et associées à des signes d'irritation cutanée [5].
- De plus, le maintien d'une position vicieuse au lit après l'opération peut conduire au développement de contractures, que ce soit au niveau de la cheville, du genou ou de la hanche [5].

- Au niveau de la section, un névrome se développe systématiquement, s'il se trouve à proximité d'un point d'appui cutané il provoquera des douleurs. Ces dernières sont reproductibles au test de TINEL. Il peut être réalisé une échographie du moignon à la recherche d'un moignon nerveux si le diagnostic est incertain. Ce qui permet le plus de contrôler ces douleurs est l'adaptation de l'appareillage.
- Les radiographies standards permettent d'exclure le développement de spicules au niveau du trait de la coupe osseuse. En cas de spicules, la reprise chirurgicale peut être nécessaire.
- La complication de l'hématome du moignon met ce dernier devant un risque de déhiscence ou d'infection. Une hémostase soignée doit être effectuée avant la fermeture cutanée pour prévenir l'apparition d'un hématome. Le risque de thrombose veineuse profonde étant élevé, un traitement thromboprophylactique doit être mis en place même si ce dernier favorise la formation d'hématomes. Il doit être introduit dans la phase post-opératoire, car un mauvais retour veineux associé à une thrombose veineuse profonde contribue à la formation d'un œdème local et des problèmes cicatriciels.
- Dans les complications nous retrouvons également les infections. Le taux d'infection dans les suites post-opératoires est proche de 20%. Tout ce qui rentre dans les infections superficielles peuvent être traitées par des soins locaux. Pour les infections profondes, avec la formation d'un abcès et une atteinte systémique éventuelle, la reprise au bloc opératoire est indiquée [5].
- Également, nous retrouvons les déhiscences de plaie qui touchent plus de 15%. Elles traduisent une revascularisation insuffisante ou des infections locales. Les facteurs favorisants et reconnus sont un apport alimentaire insuffisant et la consommation tabagique.

Comme pour les infections, un traitement conservateur par des soins locaux est indiqué si la déhiscence est localisée. Concernant les lésions de grande ampleur, nous devons reprendre le bilan angiologique avant une reprise au bloc opératoire [5]. Le traitement antibiotique n'est pas introduit « à l'aveugle » avant l'opération.

Les sensations fantômes sont une autre complication des amputations. Elles sont présentes chez 90% des patients et résultent d'une discordance entre la représentation corticale et des afférences sensorielles manquantes.

1.2 La douleur fantôme

Comme évoquée précédemment, la douleur fantôme, ou algohallucinoïse, est une des complications de l'amputation. Les mécanismes physiopathologiques sont complexes et restent mal étudiés. Le membre fantôme a toujours intrigué et fasciné [12].

C'est une complication fréquente ressentie par 60 à 85% des cas, elle peut devenir handicapante car elle résiste aux traitements antalgiques [13].

L'hallucinoze est la simple sensation du membre amputé, c'est la présence d'une absence. Alors que l'algohallucinoze se définit par les sensations douloureuses au sein du membre fantôme. La fréquence et l'intensité de ces douleurs sont d'une variabilité extrême [12].

Elle peut être décrite comme lancinante, pressante, brûlante, crampes, contractures, décharges électriques... Généralement elle est distale et intermittente, et immédiate après l'amputation chez 75% des patients. Elle peut disparaître mais également se chroniciser et être invalidante en devenant résistante aux différents antalgiques dans 25% des cas [13].

Le membre fantôme, qu'il soit douloureux ou non, est perçu sous différentes formes :

- Le membre fantôme normal : il a une morphologie et une adaptation posturale normales. Mais la perception est exacerbée par rapport aux autres segments.
- Le membre fantôme déformé ou typique : il est perçu comme plus long, plus gros ou plus court. Dans des situations statiques ou dynamiques, il peut adopter des attitudes inhabituelles, par exemple : trajectoire inappropriée.
- Le membre fantôme « commémoratif » : il se présente comme le membre avant son opération. Mais ce phénomène est plus présent sur un endroit précis en raison d'un souvenir comme le fait de porter une bague sur un doigt précis, ou que cette zone est vécue un événement douloureux [12].

Certains auteurs ont essayé de comprendre les origines et les mécanismes d'apparition. Certaines théories décrivent la physiopathologie avec des facteurs périphériques et centraux.

Dans l'une des études de Richard Sherman, nous avons deux théories pour les douleurs fantômes à type de crampes et de brûlures. Il y aurait une relation entre l'intensité de la crampe et la tension musculaire pour les douleurs à type crampe. Concernant les douleurs à type brûlure, il y a une modification du flux sanguin qui entraînerait une modification de l'intensité des brûlures. Une autre théorie complèterait cette dernière, nous avons une section de fibres nerveuses lors de l'amputation, ceci provoquerait une réorganisation des axones nerveux qui donnerait un névrome. Dans l'hypothèse que ce névrome enverrait des messages nerveux chaotiques au niveau de la moelle et donc des centres [12].

Ces théories ne donneraient qu'une seule origine qui serait une origine centrale et non périphérique.

De plus, le corps humain est doté d'une carte somatotopique appelée « Homonculus de Penfield », suite à une amputation il y a une réorganisation de cette carte.

1.3 L'homonculus de Penfield

Les travaux sur les différentes aires cérébrales et sur leurs spécificités fonctionnelles ont commencé à la fin du XIX^{ème} siècle avec des études électro-physiologiques menées sur les animaux.

Des cartographies précises du cortex cérébral ont été publiées par Penfield et Rasmussen en 1950 grâce à la stimulation électrique. Ces cartographies sont connues sous le nom d'homonculus moteur et sensitif.

Cette organisation fonctionnelle était définitive et figée, mais à partir des années 70 plusieurs études ont été réalisées. Ces dernières ont montré qu'à la suite de lésions périphériques des modifications de la représentation des aires corticales sensorimotrices étaient réalisées.

Un des chercheurs les plus connus dans ce domaine, Merzenich, a mis en évidence après l'amputation d'un doigt de singe la représentation sensitive de doigt était modifiée au niveau de la zone cérébrale. En effet, elle se met à réagir aux différentes stimulations des deux doigts voisins. De plus, l'utilisation importante d'un doigt a montré un agrandissement de l'aire corticale correspondante par recouvrement d'une aire voisine.

Avec le développement de l'imagerie fonctionnelle, des similitudes avec l'homme ont été possibles. Ces techniques ont permis l'étude de la modification des cartographies cérébrales, les modifications peuvent survenir suite à un apprentissage ou à une lésion.

En 1993, Ramachandran a mis en évidence que suite à une amputation du bras, l'aire corticale somato-sensorielle de ce dernier fut recouverte par celle de la face. Nous avons donc le recouvrement d'une zone corticale désafférentée par une zone limitrophe.

Ceci a permis de mettre en place la notion de « plasticité cérébrale », qui est le reflet de la flexibilité du cerveau ainsi que sa capacité d'adaptation tout au long de la vie d'un être vivant [14].

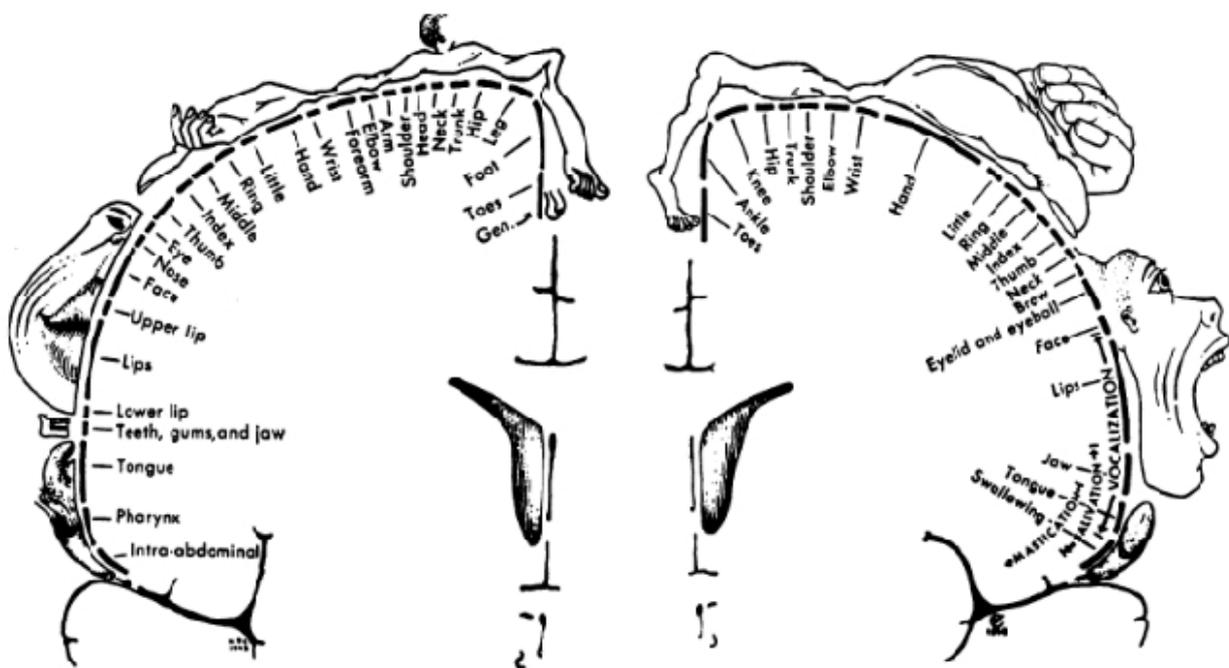


Figure 3 : Homonculus de Penfield moteur et sensitif

1.4 La réalité virtuelle

La réalité virtuelle est une technique informatique qui permet aux utilisateurs d'être en immersion et en présence d'un environnement virtuel.

Il existe deux catégories de réalité virtuelle :

- Immersive
- Non immersive

Dans la réalité virtuelle immersive, les utilisateurs ont des sensations complètement englobées par l'environnement virtuel dans lequel ils se trouvent. Cette réalité virtuelle est généralement équipée d'un casque-écran qui empêche les utilisateurs de voir la vision du monde réel.

La réalité virtuelle non immersive permet aux utilisateurs de conserver une certaine connexion sensorielle avec l'environnement du monde réel.

Le récent essor de ce nouvel outil a permis le démarrage virtuel de deux applications de réalités :

- Les visiocasques
- Systèmes de détection de mouvement dans une moindre mesure.

Les visiocasques peuvent fournir des images stéréoscopiques pour des expériences totalement immersives soit en isolant la vision de l'utilisateur de la réalité, qui est occultée dans le cas de visiocasques non transparents, soit en affinant le monde environnant par exemple.

Avec la réalité virtuelle, le patient peut interagir avec son environnement et son contenu pour augmenter la force des contingences sensori-motrices. Plus les sens sont impliqués, stimulés, plus les illusions générées sont fortes.

Elle présente de nombreux avantages pour les applications de soins de santé, en particulier pour la neuro réadaptation. La réalité virtuelle peut offrir un entraînement sensori-moteur capable d'engager les zones motrices et perceptives du cerveau, car une rétroaction visuelle liée au corps peut être fournie en temps réel [15].

La réalité virtuelle a été utilisée pour la première fois avec succès en 1992 par Ramachandran pour la douleur neuropathique de patients souffrant de douleurs au niveau de leur membre fantôme, il a observé une réduction de cette douleur.

L'utilisation de la réalité virtuelle pour traiter la douleur chronique, a augmenté en raison de sa similitude avec la thérapie miroir.

De plus, certains avantages de la réalité virtuelle par rapport à la thérapie miroir comprennent une meilleure interaction et une meilleure compatibilité avec les patients qui sont affectés bilatéralement, la réalité virtuelle possède également un potentiel de personnalisation.

Le traitement par la réalité virtuelle, a été un succès pour la douleur musculo-squelettique, le syndrome douloureux régional complexe, et la fibromyalgie.

La réalité virtuelle est une alternative thérapeutique non invasive et non pharmacologique avec des effets indésirables minimes [16].

L'expérience de la réalité virtuelle est composée d'un ensemble de caractéristique qui rend cette expérience plus ou moins réelle. Bien que les exigences minimales pour réaliser cette expérience ne soit pas encore définies, grâce à la littérature, nous identifions au moins quatre groupes de contributeurs interdépendants :

- L'immersion
- L'interaction
- Les contingences sensori-motrices
- Et comme conséquences de cette réalité virtuelle : les illusions [15].

1.4.1 L'immersion

L'immersion est le premier terme associé à la réalité virtuelle. Dans cette réalité, de nos jours, la principale contribution à l'immersion technologique vient de la manière dont l'information visuelle est fournie.

Toutefois, il n'est pas uniquement question de type d'affichage, de taille et de champ de vision, l'immersion peut être améliorée en ajoutant d'autres signaux sensoriels (par exemple : des signaux auditifs ou tactiles).

Elle n'est pas spécifique aux écrans électroniques. En effet, un livre peut fournir un certain niveau d'engagement par lequel le lecteur va pouvoir visualiser mentalement l'environnement décrit ou s'identifier aux peurs des protagonistes. Ceci peut faire éprouver aux lecteurs un certain niveau d'immersion.

Toutefois, pour améliorer l'expérience de la réalité virtuelle, d'autres éléments comme les contingences sensori-motrices et les illusions sont requises [15].

1.4.2 L'interaction

L'interaction naturelle dans les expériences de réalité virtuelle commence par la simple exploration visuelle de l'environnement (ceci peut se faire grâce à l'installation d'un tracteur sur le casque de réalité virtuelle, lorsque le patient tourne la tête il pourra voir un environnement fictif).

Il y a des sentiments dits « initiaux » qui sont générés à la suite d'une exposition à un environnement immersif. Ces derniers peuvent disparaître si cette immersion n'est pas alimentée par des contingences sensori-motrices fournies par une interaction significative avec l'environnement.

Le niveau d'interaction va augmenter à chaque fois que le système répondra à une action du participant.

Quand une représentation virtuelle de leur corps est possible dans l'expérience, lorsqu'ils atteindront par exemple un objet virtuel, le patient s'attendra à ressentir une interaction avec ce dernier (sentir la texture, la forme, le poids).

Cette dimension tactile permet d'améliorer l'interaction visuomotrice grâce à une nouvelle information sensorielle. D'autres entrées sensorielles peuvent permettre des modes d'interactions plus élaborées, principalement par l'interaction cerveau-biofeedback [15].

1.4.3 Les contingences sensori-motrices

Les contingences sensori-motrices nous permettent de percevoir notre monde. En effet, elles nous renvoient des informations par rapport aux actions que nous réalisons.

Dans les expériences de réalité virtuelle, elles sont produites par l'interaction du patient avec l'environnement virtuel. Les contingences sont directement impliquées dans la génération du sens de l'action, le patient est l'auteur et l'initiateur de ses propres actions pendant une séance de réalité virtuelle. Ceci est donc particulièrement important dans les interactions entre le corps humain et le monde créé par la réalité virtuelle.

Il ne faut pas oublier que notre perception du monde virtuel dépend de la congruence entre nos actions et le retour sensoriel qui en résulte.

Il y a un facteur critique qui permet au système nerveux d'interpréter l'environnement dans lequel nous nous trouvons, ce facteur est la corrélation spatio-temporelle des stimuli multi-sensoriels simultanés.

Les écarts spatio-temporels arbitraires créés artificiellement grâce à la réalité virtuelle peuvent permettre de faciliter l'activation des réseaux cérébraux ciblés afin d'accélérer, potentiellement, le processus de récupération au sein d'un programme de rééducation [15].

1.4.4 Les illusions

L'illusion est définie comme un cas de perception erronée ou mal interprétée d'une expérience sensorielle.

Les expériences de réalité virtuelle englobent une série d'illusions perceptives liées à l'espace, à l'environnement. Plus les sens sont impliqués de manière congruente (stimulés) pendant l'interaction, plus la force des illusions générées est élevée.

La place de l'illusion, également appelée la présence, est le produit psychologique de l'immersion technologique. C'est le sentiment « d'être là ». Une réalité virtuelle idéale fournirait le niveau optimal d'immersion, créant l'illusion de pleine présence physique dans le monde virtuel.

L'immersion fournit les limites à l'intérieur desquelles l'illusion ou la présence peuvent se produire et peuvent être caractérisées par les contingences sensori-motrices.

La réalité virtuelle peut modifier, ajouter ou substituer des informations sensorielles réelles à la réalité pour que l'expérience donne une impression de réalité. Cette réalité peut également remplacer le propre corps du patient par une représentation virtuelle.

Ce sens de l'incarnation se compose de trois composants illusoire :

- Le sens de l'auto-localisation
- Le sens de l'action
- Le sens de la propriété du corps

Plusieurs modèles conceptuels ont été proposés pour expliquer le mécanisme que réalise notre système nerveux pour que le corps accepte un « faux corps » comme étant le sien. Alors que l'illusion de présence peut être facilement générée en exposant simplement le participant à un environnement virtuel immersif, les illusions liées au propre corps (notre lien physique avec le monde extérieur) nécessitent des niveaux plus élevés de contingences sensori-motrices.

Une combinaison de modèles « bayésiens » caractérisant les processus neuronaux ascendants et descendants semble expliquer les illusions corporelles obtenues par la réalité virtuelle.

L'étude des mécanismes et des conséquences (physiques, cognitives) de la manipulation de la perception corporelle à travers les illusions corporelles est le but ultime d'un champ de recherche dédié en neurosciences cognitives et qui s'est rapidement étendue aux illusions de corps virtuels.

La plausibilité, le lieu et les illusions d'incarnation virtuelle sont les éléments clés dans la différenciation des expériences de réalité virtuelle par rapport aux autres expériences déjà existantes. L'incarnation virtuelle (représentation virtuelle de son propre corps) n'est pas une condition suffisante pour avoir une expérience de réalité virtuelle assez puissante. En effet, l'occurrence de l'incarnation doit supposer un certain niveau de présence de contingences sensori-motrices et une illusion de plausibilité.

Alors que des niveaux élevés de présence peuvent être atteints avec un niveau de réalisation faible ou nul, utilisant la perspective à la troisième personne. L'incarnation virtuelle fournie par la perspective à la première personne permet des interactions plus précises dans le monde virtuel [15].

1.5 Problématique

En France, les douleurs fantômes sont présentes dans de nombreuses pathologies, elles ont un degré et une fréquence très variable d'un individu à un autre.

Ces douleurs peuvent avoir des répercussions importantes dans la vie des patients, autant sur la vie professionnelle que sur la vie privée et sociale. Selon leur importance, elles vont empêcher le patient à un retour à une vie professionnelle antérieure, elles vont aussi engendrer un possible isolement social.

Ces douleurs fantômes sont notamment importantes chez les patients ayant eu une amputation. En effet, elles vont gêner le remaniement de leur schéma corporel ainsi que l'acceptation psychologique de leur amputation.

De plus, elles risquent d'empêcher la réorganisation du schéma corporel avec la prothèse ainsi que son acceptation psychique que le patient devra réaliser.

Le traitement, ou la diminution, de l'intensité et de la fréquence de ces dernières est une partie essentielle dans la rééducation de ces patients. Autant d'un point de vue physiologique que psychologique.

Depuis le début des années 2000, nous connaissons l'essor des nouvelles technologies. Ces technologies ont d'abord été développées dans le but d'améliorer certains aspects de la vie quotidienne, comme l'essor des téléphones portables, des ordinateurs...

Les jeux-vidéo ont également un développement important depuis le début du 21^{ème} siècle, de par le fait que la nouvelle génération les utilise comme hobby et comme interaction sociale via des plateformes de streaming. Ces jeux-vidéos ont donc été intégrés aux nouvelles technologies médicales de par leur côté ludique et interactif.

La rééducation les utilise à travers plusieurs outils comme la réalité virtuelle, les jeux interactifs sur plateforme...

À travers ceux-ci il est légitime de se demander si les nouvelles technologies de réalité virtuelle ont un intérêt dans la rééducation des patients amputés et également dans l'amélioration de leur réinsertion sociale et professionnelle. Pour être un peu plus précis, nous pouvons aussi nous demander si cette réalité virtuelle a un intérêt dans les douleurs fantômes que les patients amputés peuvent rencontrer à la suite de leur chirurgie.

La problématique de ce travail de fin d'étude est :

L'efficacité de la réalité virtuelle dans le traitement des douleurs fantômes chez les amputés ?

2 Méthode

2.1 Critères d'éligibilité des études

2.1.1 Le schéma d'étude

Cette revue de littérature correspond à un schéma d'étude thérapeutique puisqu'elle va étudier l'efficacité d'une thérapeutique « futuriste », « innovante », et « ludique » au sein d'une rééducation concernant un symptôme.

Elle a pour but de démontrer l'efficacité de la réalité virtuelle sur les douleurs fantômes d'un membre amputé. C'est un outil thérapeutique utilisé en centre de rééducation, dédié ou non aux patients amputés, mais il peut également être utilisé en cabinet libéral pour d'autres pathologies ou symptômes. Cette alternative de rééducation n'est pas ciblée uniquement sur les patients amputés.

La recherche de cette revue se fera sur des recherches expérimentales thérapeutiques publiées dans des articles scientifiques.

2.1.2 La population et la pathologie étudiées

La population étudiée dans cette revue est les patients amputés, il n'y a pas de distinction entre les patients amputés du membre inférieur et ceux amputés du membre supérieur. Il n'y a pas d'exclusion concernant le niveau d'amputation. Ce choix se justifie par le fait de vouloir démontrer l'efficacité de la réalité virtuelle sur l'ensemble des douleurs fantômes que nous pouvons rencontrer dans le monde des amputés.

Dans notre équation de recherche, il faudra exclure tous les autres types de douleurs, et inclure uniquement les douleurs fantômes.

L'origine de l'amputation, qu'elle soit vasculaire, traumatique, infectieuse ou tumorale, ne sera pas un critère de sélection pour cette étude. La date de l'amputation ne sera également pas prise en compte.

Les patients seront directement inclus dans l'étude dès lors qu'ils présentent une douleur fantôme due à une amputation. Par contre l'ancienneté de la douleur fantôme sera un élément à prendre en compte dans l'analyse de cette étude.

La tranche d'âge ciblée pour cette revue sera les jeunes adultes et les adultes. C'est-à-dire à partir de 18 ans (inclus), il n'y aura pas de limite d'âge au-delà de 18 ans pour inclure ou exclure les sujets.

Les articles seront inclus sans prendre si les patients ont, ou non, une prothèse, ni l'ancienneté de cet appareillage. Pour l'inclusion des articles nous ne tiendrons pas compte des capacités motrices et fonctionnelles du patient.

Cependant, nous tiendrons compte de l'intensité des douleurs fantômes, ainsi que leurs fréquences d'apparition et leur durée.

Nous incluons les patients hospitalisés, en hôpital de jour et en externe (cabinet libéral).

2.1.3 Intervention, stratégie thérapeutique et comparateur

Notre intervention est une stratégie thérapeutique : la réalité virtuelle, nous allons chercher à montrer ou non son efficacité. Tous les patients réaliseront les séances de réalité virtuelle. Nous classerons les patients à la suite des séances de réalité virtuelle en trois catégories :

- Ceux avec une douleur fantôme diminuée
- Ceux avec une douleur fantôme inchangée
- Ceux avec une douleur fantôme augmentée.

L'expérience de la réalité virtuelle est un ensemble de qualités qui rendent l'expérience plus ou moins réelle. Dans la réalité virtuelle nous prenons en compte quatre composantes interdépendantes :

- L'immersion
- L'interaction
- Les contingences sensori-motrices
- Les conséquences de l'expérience : les illusions.

Le système de la réalité virtuelle fait référence à un ensemble de solutions physiques ou de moyens pour générer des expériences de réalité virtuelle. Il existe des exigences minimales en termes d'instruments pour inclure une rétroaction multi sensorielle constamment mise à jour avec des contingences sensori-motrices congruentes pour éviter les violations des attentes cérébrales.

Concernant le comparateur, il va nous permettre de contrôler l'évolution des douleurs fantômes au sein de la rééducation incluant la réalité virtuelle. Le comparateur est l'évolution de la douleur après l'intervention de la réalité virtuelle, c'est-à-dire que nous voulons comparer l'intensité de la douleur, le nombre d'épisode douloureux et leur durée avant et après l'intervention.

Les résultats que nous allons observer, nous donnerons l'efficacité ou non de cette prise en charge.

2.1.4 Les critères de jugement

Les critères de jugement sont les éléments sur lesquels la stratégie thérapeutique aura un effet, aussi bien positif (diminution des douleurs fantômes) que négatif (aucune amélioration notable pour les douleurs fantômes).

Les critères de cette revue sont :

- L'évolution des douleurs fantômes → Critère principal
- La fréquence d'apparition de ces douleurs → Critère secondaire
- La durée des épisodes douloureux → Critère secondaire

Il est possible que l'ensemble de ces critères ne soit pas retrouvés dans toutes les études de cette revue.

Tableau 1 : Modèle PICO de l'étude.

Critères PICO	Explication
P : Population	Hommes et/ou Femmes amputés unilatéral et/ou bilatéral du membre supérieur ou inférieur.
I : Intervention	Traitement des douleurs fantômes par la réalité virtuelle.
C : Comparateur	L'intensité de la douleur, le nombre d'épisode douloureux et la durée de ces épisodes avant l'intervention.
O : « Out come » (critère de jugement)	Réduction des douleurs fantômes, fréquence d'apparition de ces douleurs et la durée des épisodes douloureux.

2.2 Méthodologie de recherche des études

2.2.1 Sources documentaires

Notre recherche d'articles et d'études utilisera différentes bases de données électroniques :

- Pubmed
- Cochrane
- PEDro

Nous allons également faire des recherches au sein de la littérature grise, des sites internet, pour affiner et utiliser toutes les sources documentaires possibles pour la réalisation de cette revue.

Les opérateurs booléens vont nous permettre de réaliser une recherche plus sélective concernant les articles et les études qui vont intégrer cette recherche scientifique. Ces opérateurs sont au nombre de trois : « OR », « AND », et « NOT », leur utilisation nous permettra de mieux cibler les articles en fonction des différents critères que nous avons développés plus haut.

2.2.2 Équation de recherches

L'équation de recherche est une suite de mots clés qui vont nous permettre de cibler le plus précisément possible notre recherche documentaire.

Les mots clés concernant cette étude sont :

- Amputation – Amputees – Limb amputation
- Pain – Phantom Pain – Phantom limb
- Virtual reality – Virtual environment – Virtual world

La rédaction de l'équation de recherche avec les mots clés évoqués précédemment et les opérateurs booléens est :

(« Amputation » OR « Amputees » OR « Limb amputation ») AND (« Pain » OR « Phantom Pain » OR « Phantom Limb ») AND (« Virtual reality » OR « Virtual environment » OR « Virtual World »).

2.3 Méthode d'extraction et d'analyse des données

Cette revue scientifique a un but thérapeutique. En effet, elle cherche à démontrer l'efficacité ou non d'une stratégie thérapeutique, le meilleur design pour répondre à cela est une étude de cas prospective.

Cette étude va administrer aux patients qui participent un traitement, qui est la réalité virtuelle. Ceci va permettre de connaître l'efficacité du traitement utilisé et par la suite développer des connaissances sur cette thérapeutique.

Cependant, nous nous intéresserons à tous les types d'études, pour savoir ce qui a déjà été réalisé sur ce sujet et connaître les connaissances médicales actuelles mais également pour permettre d'approfondir ces connaissances. Mais nous nous concentrerons en priorité sur les études de cas prospectives, si les résultats sont trop peu significatifs nous insérerons des études expérimentales. Le niveau de preuve de la revue sera moins fort et donc les résultats auront moins de crédibilités scientifiques.

Les études ne seront pas incluses en fonction de leur date d'édition, mais nous tiendrons compte du choix de la langue. Effectivement, seules les études écrites en français ou anglais seront incluses, toutes autres études rédigées dans une langue différente du français et de l'anglais seront exclues. Ce choix s'explique par le fait de la possibilité d'analyse des études, le français et l'anglais sont les seules langues que l'auteur de cette revue maîtrise.

Les recherches, les extractions et les traitements de données seront réalisés par une seule personne (Maureen BATTAGLIA/M.B).

2.3.1 Extraction des données par rapport aux sujets des études

Les données que nous allons extraire par rapport aux sujets des différentes études sont :

- Âge moyenne de la population
- Nombre de participant
- Niveau d'amputation
- Les critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude
- Le nombre de patient évalué au final dans l'étude.

2.3.2 Extraction des données par rapport aux protocoles des études

Les données qui vont être extraire des protocoles des études sont :

- Description de l'intervention
- La durée de l'étude
- Les critères de jugement
- A quel moment les résultats sont collectés
- Résultats de l'étude

2.3.3 L'évaluation méthodologique des études sélectionnées

Nous allons évaluer la méthodologie des études sélectionnées pour répondre à cette problématique. Pour cette évaluation nous utiliserons l'échelle Newcastle Ottawa.

À travers cette échelle, nous allons pouvoir identifier les études avec un niveau de validité interne suffisamment élevé.

Nous sommes obligés d'utiliser cette échelle d'évaluation pour que nous puissions estimer les puissances scientifiques de toutes nos études. Plus précisément, c'est la puissance et la validité que nous pourrons accorder aux résultats publiés dans ces études. Cette étape est obligatoire.

2.3.4 Méthode et synthèse des résultats

Avec les critères de jugement choisis, nous retrouvons :

- Des critères principaux : l'EVA ou l'EN et la Mc Gill pain.
- Des critères secondaires : une appréciation subjective et qualitative de la douleur.
 - o Le nombre d'épisode douloureux
 - o La durée de ces épisodes.

Pour chaque article, nous retrouverons des rappels concernant les variables et la taille de l'échantillon. Les résultats seront chiffrés et sous forme de tableaux.

Dans les différentes études, nous regarderons les résultats obtenus auprès des patients. Nous comparerons les données en pré et post intervention, pour nous permettre de voir s'il y a une amélioration ou non suite au traitement.

Lorsque le « p » est disponible, il sera analysé pour nous permettre de connaître la signification statistique de l'intervention. Il permettra d'estimer la probabilité que la différence des résultats observée soit due ou non au hasard.

Il est fixé par la communauté scientifique à 5% de cette probabilité, la probabilité qu'une différence ne soit pas dû au hasard doit être inférieure à 5%. Si tel est le cas, nous pourrions accepter que l'hypothèse de cette probabilité ne soit pas dû au hasard mais dû à un autre paramètre.

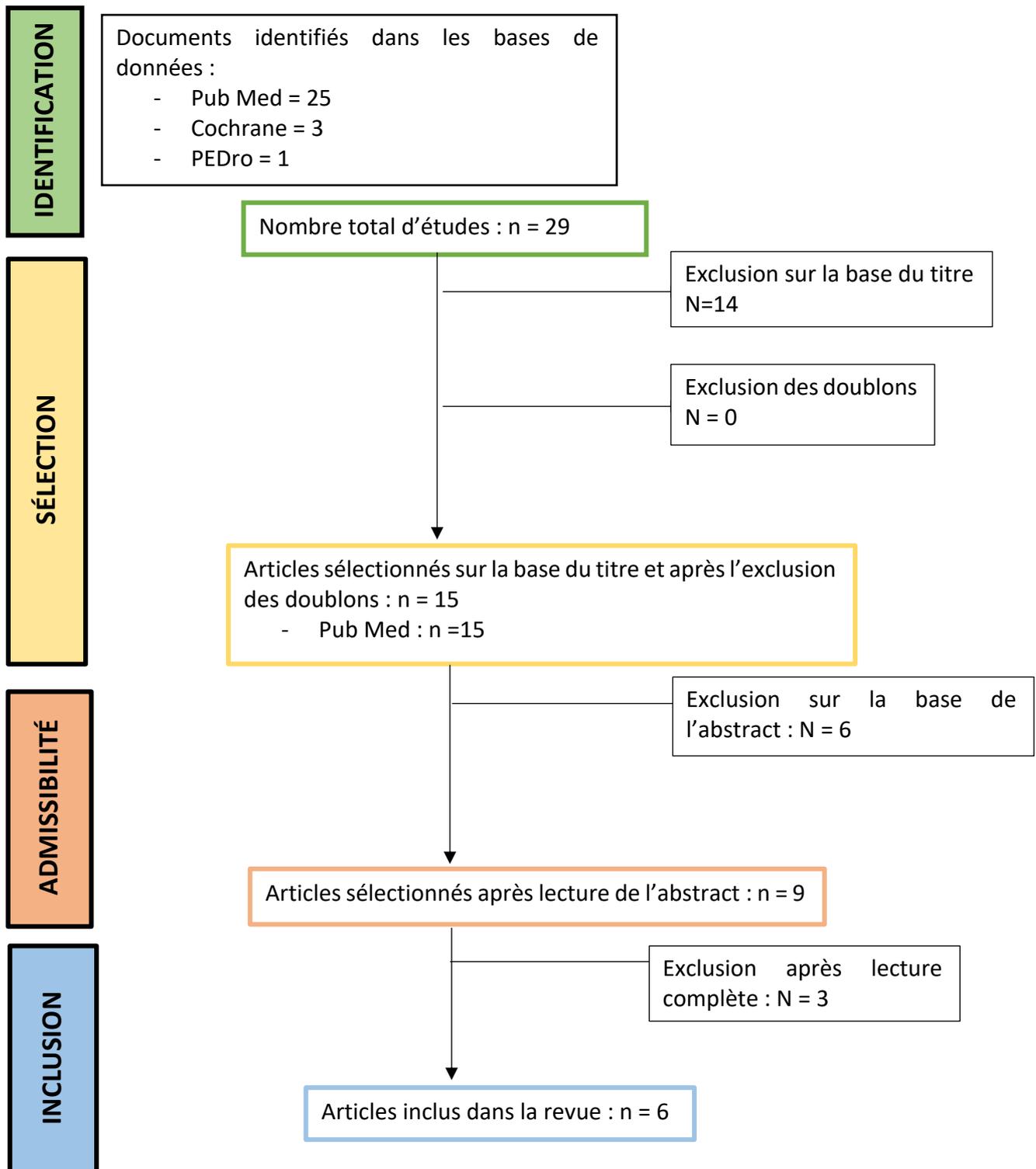
Les intervalles de confiance seront également présentés, si non disponible au sein de l'article ils seront calculés. Ces intervalles permettent de savoir si la différence observée par le « p » est importante ou non. Ils seront donc calculés ou donnés à 95%.

Les calculs de ces intervalles seront effectués grâce à l'aide d'un tableur excel.

3 Résultats

3.1 Description des études

3.1.1 Le diagramme de flux



3.1.2 Les caractéristiques des études exclues

Pour réaliser notre recherche d'articles, nous nous sommes dirigés vers plusieurs bases de données électroniques, comme Pub Med (n = 25), PEDro (n =1), et Cochrane (n =3).

Cette étape d'identification a permis de réunir 29 publications grâce aux différentes bases de données utilisées.

L'étape de sélection fut réalisée sur l'analyse des titres de chaque publication. Nous avons dans un premier temps regardé en détail le titre de chaque article, si ce dernier ne correspondait pas au sujet de la revue, il était exclu. Ce premier paramètre d'exclusion a permis d'exclure 14 études.

Les études n'ayant pas la bonne intervention, la bonne pathologie, la bonne population ont été exclues. Les études portant sur les prothèses n'ont pas été incluses dans cette revue.

La deuxième étape de cette sélection portait sur l'élimination des doublons, par chance nous n'avons rencontré aucun doublon entre les différentes bases de données scientifiques.

À la fin de ce stade, le nombre d'articles sélectionnés était de 15.

À la suite de l'étape de sélection, nous avons l'étape d'admissibilité. Elle consiste à une lecture et une analyse plus approfondie des abstracts, du schéma d'étude ainsi que l'intervention qui est réalisée au sein de l'article. Cela nous a permis d'éliminer les articles qui ne répondaient pas totalement à notre question clinique et les articles ne répondant pas suffisamment à nos critères (n = 3).

Enfin, la dernière étape est l'étape d'inclusion. La lecture intégrale des articles a permis de confirmer l'inclusion de nos 6 derniers articles car ils sont conformes à nos critères.

Sujets	Raison de l'exclusion après analyse de l'abstract
Justin DUNN (2017) [17]	L'intervention portait aussi sur la thérapie miroir.
Elisabetta AMBRON (2018) [18]	L'étude incluait qu'un seul patient, pas assez pertinent dans les résultats.
Briana N. PERRY (2018) [19]	L'intervention incluait également la réalité virtuelle dans l'amélioration de la prothèse.

Tableau 2 : Les raisons d'exclusion des articles après lecture complète.

3.1.3 Les caractéristiques des études incluses

Les critères d'inclusion utilisés pour sélectionner nos articles sont cités dans notre PICO (Cf. tableau 1).

Dans l'étude, nous incluons les patients hommes et femmes, amputés du membre supérieur ou inférieur peu importe le niveau d'amputation. Au vu du nombre d'article éligibles à nos critères, nous avons inclus des articles qui ne présentaient pas des essais cliniques randomisés mais des études de cas prospective.

Les articles sélectionnés (un tableau récapitulatif des études sera donné en dessous de ce listing, cf. tableau 3) :

- 1^{er} article : « **A virtual reality intervention for the treatment of phantom limb pain : development and feasibility results** » de T. Rutledge, D. Velez, C. Depp et al. [20]
- 2^{ème} article : « **Individualized augmented reality training reduces phantom pain and cortical reorganization in amputees : a proof of concept study** » de M. Thogersen, J. Andoh, C. Milde, et al. [21]
- 3^{ème} article : « **An investigation into the effects of a virtual reality system on phantom limb pain : a pilot study** » de J. Kulkarni, S. Pettifer, S. Turner et al. [22]
- 4^{ème} article : « **The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality : three cases studies** » de C. Murray, S. Pettifer, T. Howard et al. [23]
- 5^{ème} article : « **Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain ; from stump motion to agency and analgesia** » de J. Cole, S. Crowle, G. Austwick et al. [24]
- 6^{ème} article : « **Training with virtual visual feedback to alleviate phantom limb pain** » de C. Mercier, A. Sirigu. [25]

Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques des études incluses.

	Rutledge et al 2019	Thogersen et al 2020	Kulkarni et al 2019	Murray et al 2007	Cole et al 2009	Mercie et Sirigu 2009
Design	Série de cas					
Taille de la population	14 patients	7 patients	9 patients	3 patients	14 patients	8 patients
Description de l'intervention	57 séances de 40 à 60 min.	8 séances de 45 min de réalité virtuelle pendant 2 semaines.	3 sessions de réalité virtuelle, 1 séance par mois.	2 à 5 séances de 30 min sur 3 semaines avec tâches avec répétitions.	Durée d'une séance de 60 à 90 min en fonction de la fatigue.	2 séances de 30 à 60 min pendant 8 semaines.
Mesure des résultats	Phantom limb pain scale avant et après les séances. Échelle de 1 à 7 pour évaluer l'efficacité de la séance.	Avant et après chaque séance, répondre à la Mc Gill questionnaire. Tous les soirs un journal doit être rempli dans lequel le patient parle de sa douleur (intensité avec EN). Questionnaire de suivi 1 mois après l'intervention (West Haven Yale).	Évaluation de la douleur avec EN. Mention du nombre d'épisode douloureux et leur durée. Questionnaire 1 an après sur l'intensité, le nombre d'épisode douloureux et leur durée.	Après chaque séance auto-évaluation avec le Mc Gill questionnaire. Un entretien de 15 min après chaque séance.	Avant une séance questionnaire Mc Gill. Après la séance, un entretien sur la douleur et sa sensation.	EVA avant et après chaque séance. Tenu d'un journal quotidien sur la douleur (intensité, nombre d'épisode, durée).

3.1.3.1 Article 1 : *A virtual reality intervention for the treatment of phantom limb pain : development and feasibility results, Rutledge et al.*

❖ La population :

La population incluse dans cet article comprend 14 vétérans âgés de 21 à 80 ans. Parmi ces 14 vétérans, 13 ont une amputation du membre inférieur et 1 a une amputation du membre supérieur. La moyenne d'âge est de 63 ans.

Les critères d'inclusions de cette étude sont :

- Être un vétéran âgé de 21 à 80 ans
- Avoir des douleurs fantômes depuis au moins 6 mois
- La douleur doit être inférieure à 4/10.
- Être anglophobe et avoir une résidence stable
- Être capable de faire fonctionner un casque de réalité virtuelle.

Ils ont exclu les vétérans avec des maladies médicales majeures comme une insuffisance cardiaque ou une maladie pulmonaire grave. Les vétérans avec une consommation d'alcool importante ou une consommation de substances actives. Les personnes avec un état psychiatrique instable, ou une déficience cognitive modérée ou sévère. Après avoir pris en compte ces critères d'exclusion, l'étude avait retenu 27 vétérans.

Parmi ces 27 vétérans, cinq d'entre eux ont refusé de participer au traitement par rapport à leur localisation, 8 autres vétérans ont refusé également de participer car leurs symptômes n'étaient pas dû aux douleurs fantômes. Nous avons donc 14 vétérans qui ont accepté de participer à cette étude.

❖ L'intervention :

Les participants ont dû effectuer une visite de base avec le coordinateur de l'étude, pendant laquelle ils ont reçu une formation sur l'utilisation et la configuration des casques de réalité virtuelle. À la suite de cette visite, les participants avaient le choix entre ramener l'équipement de réalité virtuelle chez eux ou de venir faire leur séance au laboratoire.

Les utilisateurs (à la maison et au laboratoire) devaient renseigner de brèves mesures après chaque utilisation. Ces mesures fournissaient des données concernant le temps d'utilisation, les effets sur les douleurs fantômes, les sensations fantômes ainsi que sur les effets secondaires.

Au cours de la visite de base, les patients ont fourni des informations sur leur état psychologique, la sensation fantôme et les douleurs fantômes.

Chaque séance de réalité virtuelle durait entre 40 et 60 min, en fonction de la fatigue du sujet. Pendant ces séances, les participants étaient placés sur un pédalier (adapté au bras ou à la jambe du sujet). Le casque de réalité virtuelle projetait l'image du pédalier ainsi que la représentation des deux membres supérieurs ou inférieurs, selon la localisation du membre amputé. Au total 57 séances ont été réalisées.

❖ Les critères de jugement :

Lors de la visite de base les vétérans ont répondu à des questionnaires :

- Le phantom limb pain questionnaire (**ANNEXE 4**) qui donne des renseignements sur le nombre d'épisode de douleur fantôme, l'intensité de cette douleur, et le type de sensation fantôme (crampes, brûlures, picotement, écrasement, immobilité, pulsations).
- L'évaluation de l'intensité de la douleur se fait aussi par l'échelle de Likert standard. C'est le critère de jugement principal.
- Le patient health questionnaire qui va nous servir à évaluer si le patient est dans un état dépressif ou non (si oui il sera exclu de l'étude).
- En dernier ils répondent au questionnaire abrégé de la SF12 pour évaluer l'état de santé général du sujet (santé mentale, physique, et sociale).

Ceci est réalisé pendant la visite de base, avant le commencement du traitement.

Avant et après chaque séance de réalité virtuelle, les patients renseignaient des informations sur :

- L'intensité de la douleur fantôme avec l'échelle de Likert
- Le type de sensations fantômes
- L'efficacité de la séance : sur une échelle de 1 « pas utile » à 7 « très utile ».
- Les réactions positives suite à la séance (amusante, relaxante, stimulante).
- Les effets indésirables déclenchés par la séance (anxiété, fatigue, étourdissements).

3.1.3.2 Article 2 : Individualized Augmented reality training reduces phantom pain and cortical reorganization in amputees : a proof of concept study, Thogersen et al.

❖ La population :

Pour être inclu dans cette étude, les patients devaient répondre à certains critères :

- Avoir subi une amputation majeure du membre supérieur
- Être amputé depuis au moins 2 ans
- Depuis au moins 2 ans, avoir une présence de douleurs fantômes.
- Au moins une douleur fantôme toutes les 2 semaines.

Un échantillon de 8 patients avec une amputation majeure unilatérale d'un membre supérieur a été inclus dans l'étude (3 femmes et 5 hommes). Un patient a été exclu de l'étude après la première séance à cause de nausée. L'échantillon de cette étude est de 7 patients.

❖ L'intervention :

L'étude a duré 4 semaines :

- 1^{ère} semaine : prendre les mesures de base.
- 2^{ème} et 3^{ème} semaines : intervention de la réalité virtuelle

- 4^{ème} semaine : évaluation.

Les patients avaient 4 séances de 45 min par semaine pendant deux semaines. En tout, les patients ont eu 6h de réalité virtuelle en 2 semaines.

Pendant la séance, les patients avaient une visualisation virtuelle de leur membre intact avant l'amputation, et devaient effectuer 3 tâches différentes avec ce membre virtuel.

Les trois tâches :

- Le jeu de choix et de place : ils devaient saisir un objet et le placer précisément dans un endroit.
- Le jeu d'imitation : avec la main amputée imiter la position avec précision de la main opposée.
- Le jeu de tri : trier les objets par catégories.

Ces trois tâches étaient proposées à chaque session mais de manière aléatoire à chaque fois.

❖ Les critères de jugement :

L'étude a utilisé l'inventaire multidimensionnel de la douleur West Haven Yale [26] mais dans une version modifiée pour évaluer séparément, la douleur fantôme et la douleur résiduelle de l'amputation. Cet inventaire a été utilisé lors de la première semaine d'intervention, à la fin de la semaine d'évaluation (4^{ème} semaine) et 1 mois après la fin de l'intervention.

Un entretien a été réalisé avant l'intervention de la réalité virtuelle. Il comprenait :

- L'évaluation de l'intensité de la douleur (EVA, allant de « aucune douleur » à « la plus forte imaginable »).
- La durée
- La fréquence de ces épisodes douloureux.

Avant et après chaque séance, les patients devaient remplir un questionnaire concernant la douleur fantôme avec le Mc Gill pain questionnaire (**ANNEXE 3**). Ils devaient également tenir des journaux quotidiens de la douleur sur les quatre semaines d'intervention, dans lequel ils évaluent leur douleur quotidienne avec une échelle numérique allant de 0 « pas du tout » à 6 « extrêmement fort ».

3.1.3.3 Article 3 : An investigation into the effect of a virtual reality system on phantom limb pain : a pilot study, Kulkarni et al.

❖ La population :

Les critères d'inclusion pour participer à cette étude :

- Être amputé unilatéral d'un membre supérieur
- Être âgé d'au moins 18 ans.
- Être amputé depuis au moins un an.
- Douleurs fantômes depuis au moins un mois.

Les critères d'exclusion sont :

- Être amputé d'un membre inférieur
- Avoir une amputation de moins d'un an.
- Être inapte pour donner son consentement
- Avoir une déficience visuelle
- Antécédents médicaux de photophobie.

À la suite de ces critères, 11 patients ont été admis pour l'étude. Sur ces 11 participants, deux n'ont pas terminé pour raisons de santé et sociales, seulement 9 sujets sont allés au bout de l'étude.

❖ L'intervention :

Les patients ont réalisé trois sessions de réalité virtuelle pendant trois mois, c'est-à-dire une séance par mois.

Chaque séance durait 30 min, elle était divisée en trois blocs de 10 min avec une réflexion de 15 min à la fin de la séance. Le patient pouvait visualiser virtuellement son membre intact alors qu'il était amputé, et participer à des jeux de balles.

❖ Les critères de jugement :

Avant la première session, les participants ont dû répondre à un questionnaire concernant leur douleur fantôme.

Avant et après chaque session, ils ont également rempli un questionnaire pour rentrer des informations sur leur douleur avant, pendant et après les sessions de réalité virtuelle.

Tous les participants ayant fini l'étude ont été invités à remplir de nouveau les questionnaires un an après les trois sessions.

L'intensité de la douleur a été enregistrée à l'aide de l'échelle numérique (EN) :

- 0 : aucune douleur
- 1-3 : une douleur légère
- 4-6 : douleur modérée
- 7-10 : douleur sévère

En plus de l'intensité, chaque participant a dû donner le nombre d'épisode douloureux et leur durée ainsi que le changement de ces paramètres suite à l'intervention.

3.1.3.4 Article 4 : the treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality : three cases studies, Murray et al.

❖ La population :

Les critères d'inclusion de cette étude :

- Avoir des douleurs fantômes
- Être un adulte sans déficit visuel ou cognitif majeur
- L'amputation doit être datée d'au moins 12 mois.

L'étude a retenu 3 patients, 2 amputés du membre supérieur et un amputé du membre inférieur.

❖ L'intervention :

Les participants ont réalisé 2 à 5 séances de réalité virtuelle sur 3 semaines. Chaque séance durait 30 min dans laquelle le patient devait effectuer 4 tâches en répétition.

Une représentation virtuelle de l'anatomie du sujet a été transposée pour que l'immersion soit la plus réussite possible.

❖ Les critères de jugement :

Pour mesurer la douleur, chaque patient devait répondre au questionnaire Mc Gill pain (**ANNEXE 3**), il devait compléter ce questionnaire après chaque séance. Des journaux de douleur devaient être également remplis quotidiennement. Pour comprendre également l'approche qualitative de la douleur fantôme, des entretiens (environ 15 minutes) étaient réalisés avant et après chaque utilisation de la réalité virtuelle.

3.1.3.5 Article 5 : Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain, from stump motion to agency and analgesia, Cole et al.

❖ La population :

Les critères d'inclusion de cette étude sont :

- Les patients devaient être amputés depuis au moins 5 mois.
- L'amputation ne devait pas être datée de plus de 10 ans.
- Les patients devaient déjà avoir eu recours à des traitements médicaux antalgiques comme morphine, tramadol, stéroïdiens...

L'échantillon de cette étude est de 14 patients dont 7 patients ont une amputation du membre supérieur et les 7 autres ont une amputation du membre inférieur. Les sujets amputés de la jambe sont âgés de 27 à 72 ans et ceux du bras de 36 ans à 82 ans.

❖ L'intervention :

Deux prototypes ont été mis en place, un pour le bras et un autre pour la jambe.

Concernant le prototype du bras, le patient voyait son bras amputé intact et avait pour ordre d'atteindre une pomme, la saisir et la soulever de la table sur laquelle elle reposait.

Concernant le prototype de la jambe, le sujet était assis sur un caisson, et visualiser ses deux jambes. Le but de cet exercice se déroulait en 4 phases : soulever la jambe, pousser la jambe vers l'avant du pied comme pour pédaler, relâcher et revenir à la position de repos.

Chaque séance durait entre 60 et 90 minutes en fonction de la fatigue du sujet. Le système de réalité virtuelle pouvait s'adapter dynamiquement aux changements de performances physiques du sujet.

❖ Les critères de jugement :

Avant de commencer chaque séance, les patients devaient répondre au questionnaire Mc Gill pain (**ANNEXE 3**) et à l'échelle numérique de 0 à 10 avec 0 « absence de douleur » et 10 « la pire douleur imaginable ». L'échelle numérique est aussi donnée après la séance.

À la fin de la séance, les patients étaient interrogés sur la sensation du membre fantôme, sa présence ou son absence pendant l'immersion.

3.1.3.6 Article 6 : Training with virtual visual feedback to alleviate phantom limb pain, Mercie et Sirigu.

❖ La population :

Les critères d'inclusion de cette étude sont :

- Les patients devaient avoir subi une amputation d'un membre supérieur.
- Les patients amputés ne devaient pas avoir changer leur médication durant le mois précédent l'intervention.
- Ils devaient être droitier
- Et ne pas avoir subi d'intervention chirurgicale durant les trois mois précédent l'étude.

Sur les 11 patients retenus, 3 ont refusé de participer :

- 2 en raison de contrainte avec leur horaire de travail
- 1 en raison de sa localisation géographique

Au final 8 patients ont participé à l'étude.

❖ L'intervention :

L'intervention consiste à présenter une image virtuelle du membre manquant effectuant différents mouvements que le sujet doit suivre. Les tâches motrices étaient les suivantes : flexion/extension du poignet, de l'avant-bras, fermeture/ouverture des doigts ainsi que l'adduction/abduction des doigts, prise de petits objets et composer un numéro de téléphone. Chaque patient pouvait choisir les mouvements qu'il souhaitait effectuer.

Chaque patient a eu 2 séances de 30 à 60 minutes par semaine pendant 8 semaines, soit au total 16 séances de réalité virtuelle. Dans chaque session, le patient exécutait 10 mouvements au choix par série de 10, au total il réalisait 100 mouvements par séance. Entre chaque série de 10, il était aménagé un temps de repos.

❖ Les critères de jugement :

À chaque séance, le patient devait évaluer sa douleur immédiate, avant et après la session, sur l'échelle analogique (EVA).

Sur un journal quotidien, ils ont dû également renseigner le niveau de leur douleur, toujours en se basant sur l'EVA, le nombre d'épisodes douloureux et leurs durées. Les patients ont dû renseigner ces données pendant les 8 semaines de traitement mais également pendant 1 mois après l'intervention.

3.2 Risques de biais des études incluses

3.2.1 Grille d'analyse utilisée : Newcastle Ottawa scale

ANNEXE 1

La Newcastle Ottawa Scale va permettre de nous donner l'importance des résultats publiés dans une étude, en d'autres termes elle va nous permettre de voir la pertinence d'une étude.

Cette échelle d'évaluation est divisée en trois catégories :

- Sélection
- Comparabilité
- Outcome

Dans chacune de ces catégories, il y a plusieurs items. Selon l'item que l'article valide nous accordons une étoile ou non à l'article. Cette échelle va de 0 étoile à 9 étoiles maximum.

Les études comptabilisant 0 à 4 étoiles sont considérées comme des études « insatisfaisantes », les études avec un score de 5 à 6 étoiles sont des études considérées comme « satisfaisantes », les études avec un score de 7 à 8 étoiles sont considérées comme « bonnes » et enfin les études avec un score de 9 à 10 étoiles sont considérées comme de « très bonnes » études.

Pour la catégorie « **SÉLECTION** » :

- Cinq articles sur six ont un échantillon qui est peu représentatif de notre population ciblée. En effet, les articles sélectionnés admettent des échantillons de population assez faible par rapport à la population des amputés en général. Nous considérons donc que ces échantillons ne sont pas forcément représentatifs de la population « amputée ». De plus, un des articles n'a sélectionné que trois patients et n'a pas précisé ce choix, ni les critères d'exclusion des potentiels autres participants.
- La taille de l'échantillon a été cependant justifiée dans pratiquement tous les articles sauf un. En effet, ils ont expliqué pourquoi les patients sélectionnés en début d'étude n'ont pu être admis dans les études.
- Il faut noter que seulement, trois articles ont pris en compte dans leurs données de base (au début de l'étude), les données des participants qui finalement n'étaient pas éligibles à l'intervention.
- La vérification des participants à l'étude se faisait par les scientifiques dirigeant l'étude, et ceux pour tous les articles.

Pour la catégorie « **COMPARABILITY** » : Tous les articles ne fournissent pas les facteurs de risques de l'exposition et n'ajustent pas les résultats en fonction des facteurs de confusion.

Pour la catégorie « **OUTCOME** » :

- Tous les articles ont récolté leurs résultats sans que les participants ou les chercheurs soient en aveugle.
- Quatre articles sur six ont donné leurs résultats avec des tests statistiques mais n'ont pas communiqué les intervalles de confiance, certains ont juste communiqué le niveau de probabilité (valeur p). En revanche, un article communique les intervalles de confiance et le niveau de probabilité.

Tableau 4 : Score Newcastle Ottawa des articles sélectionnés.

Newcastle Ottawa Scale	SÉLECTION	COMPARABILITY	OUTCOME	SCORE
Rutledge et al 2019	4	0	2	6/9
Thogersen et al 2020	4	0	3	7/9
Kulkarni et al 2019	4	0	2	6/9
Murray et al 2007	1	0	2	3/9
Cole et al 2009	3	0	0	3/9
Mercie et Sirigu 2009	3	0	2	5/9

Les articles de Murray et Cole sont les articles avec le plus petit score, selon la grille d'évaluation ce sont des études « insatisfaisantes ». Elles seront, sans doute, des sources de biais potentiels dans l'analyse et l'interprétation des résultats.

3.3 Effets de l'intervention sur les critères de jugement

Pour cette revue, nous avons un critère de jugement principal qui est l'évolution de l'intensité de la douleur fantôme (qu'elle soit positive ou négative). Nous retrouvons dans certains articles mais pas tous, les critères secondaires qui sont le nombre d'épisode douloureux et leur durée.

Le critère de jugement principal est associé à des échelles de douleur pour que nous puissions analyser les résultats de celui-ci.

Les critères secondaires sont associés à une évaluation subjective réalisée par les participants de l'étude.

Il faut noter que d'autres échelles ou tests sont abordés dans certains articles, mais nous ne les traitons pas car ils ne sont pas compris dans nos critères de jugement.

Les intervalles de confiance n'ont finalement pas pu être calculés, car les résultats nous donnent aucune information pour nous permettre le calcul de ce dernier. De plus, les articles ne les fournissent pas non plus.

3.3.1 Analyses statistiques des résultats par étude

3.3.1.1 Article 1 : *A virtual reality intervention for the treatment of phantom limb pain : development and feasibility results.*

Nous notons une baisse générale de l'intensité de la douleur fantôme chez les participants de cette étude. En effet la moyenne de la douleur de tous les participants avant l'intervention est de 1,2 contre 0,5 après l'utilisation de la réalité virtuelle.

La faible moyenne avant l'intervention s'explique par le fait que les participants ne ressentaient pas d'énormes douleurs fantômes avant l'utilisation de la réalité virtuelle, et qu'un critère d'inclusion était que la douleur devait être inférieure à 4/10.

Cette douleur est statistiquement significative car la valeur de probabilité pour ce critère est de **p = 0,002**, ainsi que le coefficient de cohen est de **d = 0,53**.

Nous avons calculé l'intervalle de confiance, et nous avons trouvé : **0,45 to 0,70**.

	PHANTOM LIMB PAIN INTENSITY (Moyenne)
AVANT	1,2
APRÈS	0,5

Tableau 5 : Les données fournies par l'étude.

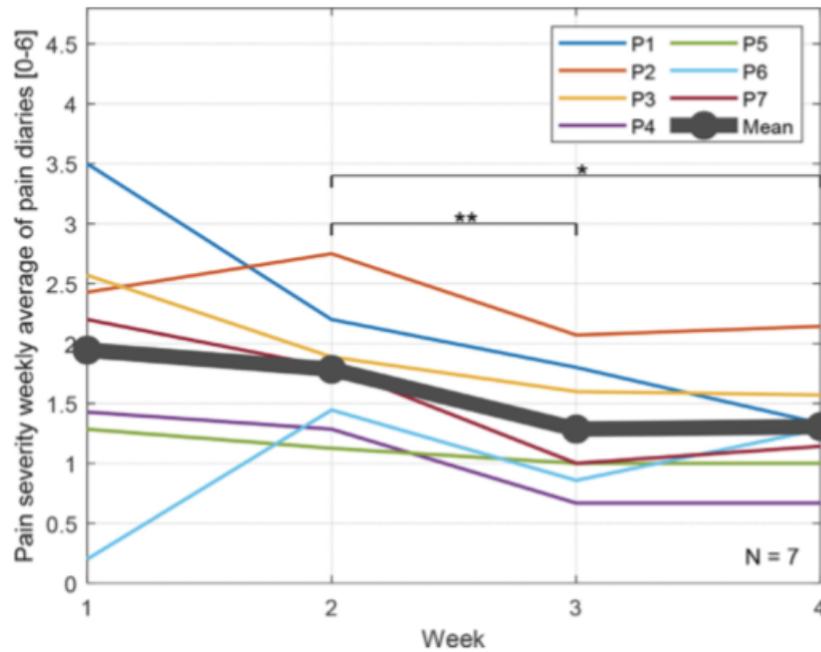
3.3.1.1 Article 2 : *Article 2 : Individualized Augmented reality training reduces phantom pain and cortical reorganization in amputees : a proof of concept study.*

Cette étude nous a fourni des données sur l'intensité de la douleur au cours de l'intervention, pendant une séance de réalité virtuelle et après l'arrêt de l'intervention.

L'intensité de la douleur **au cours de l'intervention** :

Au cours des 4 semaines, la sévérité a été mesurée à l'aide d'un journal quotidien qui était rempli par les participants. Ce journal a permis de montrer une diminution de la douleur fantôme. En effet, entre les deux semaines d'intervention de la réalité virtuelle nous avons le coefficient de Cohen qui est de **d = 2,103** avec un **p = 0,002**.

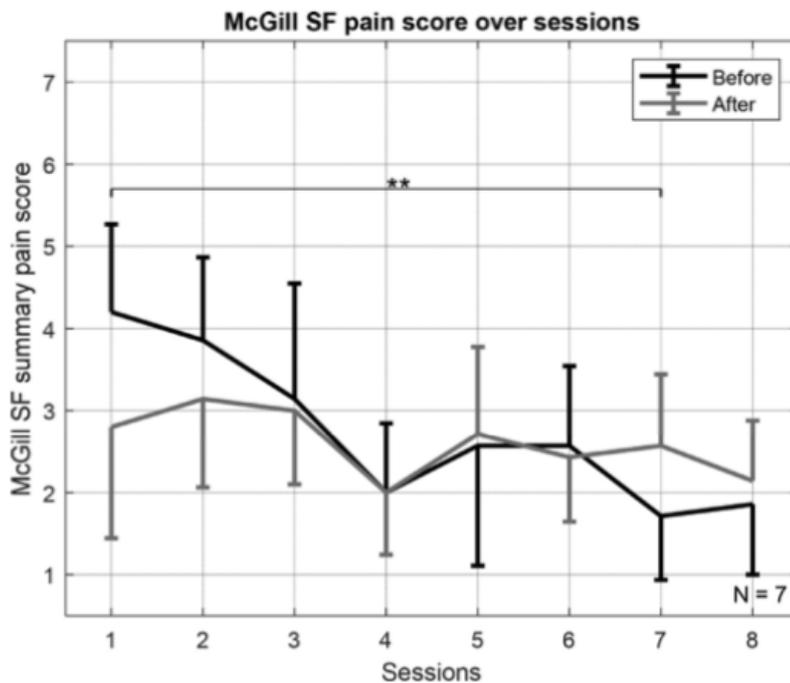
La réduction moyenne de la douleur sur toute l'intervention est donnée en pourcentage, elle est de 41%.



Graphique issu de l'étude, il montre une diminution de la douleur au cours des deux semaines d'intervention de la réalité virtuelle, et également pendant la semaine de suivi.

L'intensité de la douleur au cours d'une séance :

Nous retrouvons, grâce au questionnaire Mc Gill, une réduction de 52% concernant la douleur fantôme, mais malheureusement ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs car nous avons une valeur de probabilité de $p = 0,823$.



Graphique issu également de l'étude, il montre le score Mc Gill en début et fin de séance. Nous notons qu'il y a une diminution de la douleur dans la plupart des séances.

L'intensité de la douleur après le traitement avec réalité virtuelle :

La sévérité de la douleur fantôme a maintenu sa diminution chez l'ensemble des participants. Notons que pour un patient, la douleur a de nouveau augmenté. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il est diminué sa quantité d'antalgiques au quotidien.

3.3.1.2 Article 3 : *An investigation into the effect of a virtual reality system on phantom limb pain : a pilot study*

Cette étude nous montre, une baisse de la douleur moyenne des participants après les 3 séances de réalité virtuelle. En effet, avant l'intervention la douleur moyenne était de 6,11 contre 3,56 après l'intervention. Mais ces chiffres ne sont pas statistiquement significatifs car la valeur de probabilité est **p = 0,07**.

Notons qu'après les séances de réalité virtuelle, les patients se divisent en trois groupes :

- Ceux avec une douleur diminuée → 5 participants
- Ceux avec une douleur inchangée → 2 participants
- Ceux avec une douleur augmentée → 2 participants

Concernant le nombre d'épisodes douloureux ainsi que leur durée, il y a encore trois groupes :

- **Pour le nombre d'épisodes** :
 - 4 n'ont pas de changement
 - 3 en ont moins qu'avant.
 - 2 en ont plus qu'auparavant.
- **Pour la durée des épisodes** :
 - 4 ont une durée inchangée (dont 3/4 sont ceux qui ont un nombre d'épisode identique).
 - 4 ont une durée réduite.
 - 1 note une durée plus importante (6 à 10 minutes avant contre 11 à 30 minutes maintenant).

Pour ces critères de jugement, ces valeurs ne sont pas statistiquement significatives car la valeur de probabilité est de **p = 0,18**.

Participants	1	2	3	4	5	6	7	8	9
NRS1	2	8	6	7	7	10	5	4	6
NRS2	2	5	7	0	8	0	3	4	5

Tableau 6 : Intensité de la douleur avant l'intervention (NRS1), après l'intervention (NRS2) et un an après l'étude. (Cases en jaune : douleur diminuée, en rouge : douleur augmentée, en bleue : douleur inchangée).

Un an après l'étude, ils ont repris la mesure de l'intensité de la douleur sur les mêmes participants. Il y a toujours une diminution de la douleur moyenne mais elle n'est pas statistiquement significative avec un $p = 0,21$. Nous retrouvons toujours trois groupes :

- 3 patients avec une intensité diminuée à celui du début de l'étude
- 5 patients avec la même intensité qu'au début
- 1 patient avec une intensité plus importante qu'au début.

3.3.1.3 Article 4 : the treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality : three cases studies.

Cet article regroupe seulement trois patients. Il ne communique aucune valeur statistique, pas de valeur de probabilité, ni de moyenne. Il décrit seulement les résultats patients par patients. Nous ne pouvons savoir si ces résultats sont significatifs statistiquement.

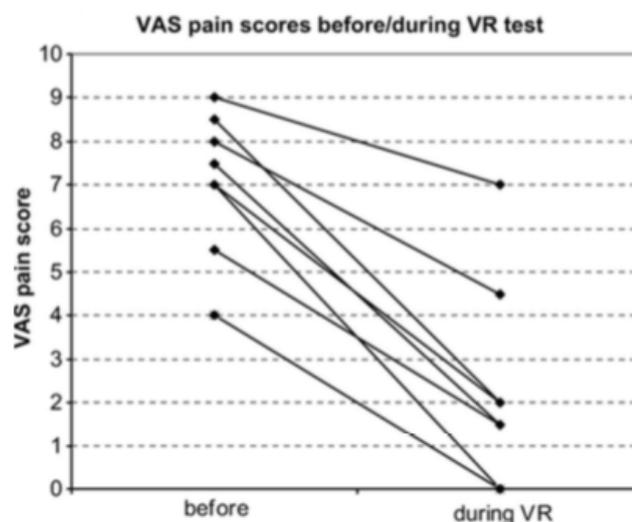
Sur les trois patients de cette étude :

- 1 a signalé une douleur diminuée après chaque séance.
- 1 a une douleur augmentée
- Et le dernier a une douleur également augmentée mais seulement après chaque séance de réalité virtuelle.

3.3.1.4 Article 5 : Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain, from stump motion to agency and analgesia.

Dans cette étude, ils ont séparé les patients amputés d'un membre inférieur, des patients amputés du membre supérieur.

Concernant les amputés du membre inférieur, 4 patients sur 7 ont une douleur diminuée mais 3 signalent aucune différence après l'intervention.



Graphique issu de l'article, qui montre la diminution de l'intensité de la douleur au cours de l'intervention pour les amputés du membre inférieur.

Pour les amputés du membre supérieur, ils signalent tous une [augmentation de la douleur](#).

Concernant cet article, nous rencontrons le même problème que pour l'article précédent. En effet, aucunes données statistiques ne sont données pour nous montrer les valeurs statistiques de ces résultats et leurs significations.

3.3.1.5 Article 6 : Training with virtual visual feedback to alleviate phantom limb pain

Cet article nous présente les résultats sur l'intensité de la douleur uniquement à court terme, c'est-à-dire immédiatement après la fin de l'intervention.

Nous retrouvons 5 patients sur 8 qui présentent une réduction de 30% de la douleur fantôme.

À la fin du traitement, la réduction moyenne de la douleur est de 38%. Mais cette diminution entre la première semaine de traitement et la dernière semaine de traitement n'est pas une différence statistiquement significative car la valeur p est de 0,44.

Concernant les patients avec une douleur augmentée, il est fort probable que cette augmentation soit due :

- Au fait qu'un patient a réduit son traitement antalgique
- 1 autre patient a changé son traitement antalgique
- Et un autre a signalé que la séance de réalité virtuelle lui demandait énormément d'effort sur son membre amputé.

4 Discussion

4.1 Analyse des principaux résultats

Dans cette revue, nous avons choisi certains critères de jugement pour démontrer l'efficacité ou non de la réalité virtuelle dans le traitement des douleurs fantômes chez les amputés.

Pour Rutledge et al, nous notons une baisse générale de l'intensité de la douleur fantôme. La douleur avant l'intervention était de 1,2 contre 0,5 après. Cette diminution assez faible de la douleur peut s'expliquer par le fait que les patients ont été sélectionnés pour une douleur inférieure à 4/10 (EN).

Cet article est un des seuls avec celui de Thogersen à présenter une valeur de probabilité statistiquement significative ($p = 0,002$). L'article de Thogersen montre une diminution de l'intensité de la douleur sur la majeure partie des participants malgré le fait qu'ils ont reçu un nombre moindre de séance de réalité virtuelle par rapport à l'étude de Rutledge (8 séances vs 57 séances).

L'étude de Thogersen et l'étude de Kulkarni sont les seules qui ont recontacté les patients après la fin de l'étude, pour avoir des informations sur l'intensité de la douleur. Les résultats sont assez disparates entre ces deux articles.

En effet, pour celui de Thogersen, l'article montre une diminution de l'intensité chez la plupart des sujets. Alors que pour celui de Kulkarni, les résultats montrent qu'un an après l'intervention, 5 patients ont de nouveau la même intensité qu'au début de l'étude, et uniquement 3 patients rapportent une diminution de la douleur contre 5 patients qui, immédiatement après l'intervention, présentaient une intensité plus faible qu'au début.

Ceci peut s'expliquer par le fait que l'étude de Thogersen a une valeur de probabilité statistiquement significative ($p = 0,002$) pour l'évolution de la douleur au cours de l'intervention alors que celui de Kulkarni ne présente aucun résultat significatif ($p = 0,21$).

Cette différence peut également s'expliquer par le protocole d'étude. Le protocole de Thogersen réalise 8 séances de réalité virtuelle en deux semaines alors que dans celui de Kulkarni, seulement 3 séances sont réalisées sur 3 mois (1 séance/mois).

La différence peut s'expliquer soit pas le nombre de séance, en effet un des articles réalise plus du double que l'autre. Mais peut s'expliquer également par la fréquence de programmation des séances. Kulkarni réalise une séance par mois contre Thogersen qui en réalise 4 par semaine. Il est possible que pour que cette thérapeutique soit efficace, il faut que les séances soient moins espacées les unes des autres.

Concernant Kulkarni, il est le seul article a donné les résultats concernant le nombre d'épisodes douloureux et leurs durées. Pour ces critères de jugement secondaires nous ne notons pas de grandes différences. Cependant, nous pouvons faire concorder les résultats des nombres d'épisodes avec leur durée.

En effet, 4 patients sur 9 ont une durée inchangée, parmi ces participants 3 indiquent que le nombre d'épisodes douloureux est également inchangé.

Quatre patients montrent une durée plus courte qu'au début de l'intervention, parmi ces sujets nous retrouvons 3 patients qui présentent un nombre d'épisode moindre et 1 de ces sujets présentent un nombre d'épisodes inchangé.

Un seul sujet témoigne d'une durée plus importante, ce même sujet fait partie des 2 participants qui ont rapporté un nombre d'épisodes plus important après l'intervention.

Ces résultats nous montrent que l'évolution, au cours de l'intervention, du nombre d'épisodes douloureux et l'évolution de leurs durées se font dans la même direction la plupart du temps. Si l'une évolue vers une amélioration, l'autre évoluera aussi vers cette même amélioration. Mais, il faut noter que ces résultats ne sont statistiquement pas significatifs car la valeur de probabilité de ces derniers est de $p = 0,18$. Nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que ces résultats soient représentatifs de la population générale des amputés.

Pour les articles de Murray et Cole, l'analyse des résultats va être compliquée. En effet, ces articles ne communiquent aucune donnée statistique (ni intervalle de confiance, ni pourcentage, ni valeur de probabilité...). Ils indiquent seulement l'évolution de l'intensité de la douleur. Pour l'article de Murray, seul 3 patients sont inclus, chacun de ces patients a eu un résultat différent. Le premier présente une diminution de l'intensité, le suivant une augmentation de cette intensité, et enfin le dernier présente aucun changement.

Malgré l'absence de valeur statistique, nous nous doutons que ces résultats ne soient pas représentatifs de la population totale des amputés, du fait que cette étude inclue un petit nombre de sujet.

Concernant l'article de Cole, même s'il intègre un nombre de participant plus important que le précédent, il ne communique aucune donnée statistique, les résultats ne pourront pas être transposés à la population des amputés. Cependant, notons, que cet article a fait une distinction entre les amputés du membre supérieur et les amputés du membre inférieur.

Pour les patients amputés du membre inférieur, la majeure partie présente une diminution des douleurs alors que pour ceux du membre supérieur, l'ensemble des patients présente une augmentation.

Nous ne pouvons affirmer que la réalité virtuelle est plus efficace sur les amputés du membre inférieur que sur les amputés du membre supérieur, d'une part c'est la seule étude qui fait une distinction parmi toutes les études incluses dans cette revue, et d'une part car nous ne pouvons pas savoir si ces résultats sont significatifs ou pas.

Pour le dernier article, Mercie et Sirigu, il nous présente uniquement les résultats directement après l'intervention. Cinq patients sur huit notent une diminution de la douleur. La valeur moyenne de cette diminution est de 38% entre la 1^{ère} semaine et la dernière semaine de traitement.

Mais comme les articles de Kulkarni, Murray et Cole, ces résultats ne sont pas significatifs, en effet, la valeur de probabilité de cette diminution est de $p = 0,44$. Ces résultats ne sont pas transposables à la population des amputés.

Après cette analyse, nous ne pouvons affirmer que cette thérapeutique soit efficace et indispensable dans le traitement des douleurs fantômes chez les amputés. Même si nous avons trouvé, dans la plupart des études, une amélioration de l'intensité des douleurs fantômes chez beaucoup de patient, il faut garder un regard critique sur cette alternative thérapeutique.

Notamment car cette thérapeutique est encore nouvelle et innovante, mais que nous ne possédons pas assez de recul sur celle-ci. En effet, nous avons remarqué que la moitié de nos articles sont récents, et de ce fait nous n'avons pas encore assez de recul et de résultats pour démontrer l'efficacité de la réalité virtuelle avec certitude.

4.2 Applicabilité des résultats en pratique clinique

4.2.1 Rapports effets positifs et négatifs

L'utilisation de la réalité virtuelle dégage plusieurs effets, positifs et négatifs.

La thérapie par la réalité virtuelle est une technique nouvelle et innovante, ce qui attire la curiosité du monde scientifique sur l'étendue de ses capacités et de ses effets sur un grand nombre de pathologies.

De plus, beaucoup de patients sont intrigués par ce nouvel outil thérapeutique. Il est ludique pour le patient, il peut interagir avec le monde fictif qui s'offre à lui. Il est totalement actif et autonome lors d'une séance de réalité virtuelle. Grâce à celle-ci, il est acteur principal de sa rééducation, le kinésithérapeute est juste présent pour assurer la sécurité du patient.

Cette nouvelle technologie s'inscrit dans « l'air du temps ».

Un des avantages de cette thérapeutique est qu'elle peut s'adapter rapidement à un patient et sa pathologie. En effet, avec l'achat et l'installation de logiciel, nous pouvons cibler plus précisément la problématique du patient.

Il faut noter, que nous avons observé qu'une diminution de la douleur fantôme était présente au bout de quelques séances de réalité virtuelle. Ceci montre qu'elle peut avoir des effets positifs sur le court terme.

Il ne faut pas oublier que la réalité virtuelle possède aussi des effets négatifs. En effet, lors d'une séance de réalité virtuelle, le kinésithérapeute ne peut s'occuper que du patient qui bénéficie de cette réalité. Il doit être présent pendant toute la durée de la séance pour assurer la sécurité du patient et surveiller son état général. De ce fait, il ne peut pas s'occuper d'autres patients.

De plus, pour pouvoir bénéficier d'une telle technologie, le patient doit avoir de bonnes capacités cognitives pour comprendre le fonctionnement de l'appareil et de ce fait réaliser une bonne séance.

Il faut souligner également, que les séances peuvent être très longues et donc fatiguée de manière colossale le patient. Certains patients rapportaient qu'ils étaient incapables de bouger leur membre après une longue séance de réalité virtuelle. Plusieurs patients ont également rapporté qu'ils ont souffert de nausées pendant les séances et ont même signalé que leur douleur fantôme avait augmenté après l'utilisation de la thérapie.

Il faut savoir utiliser cet outil avec prudence et rester toujours vigilant vis-à-vis des réactions des patients.

4.2.2 Coûts et efficacité

Dans les études présentées par cette revue, rien ne mentionne le coût d'une telle thérapeutique. Mais nous pouvons imaginer que l'installation et l'achat de ce récent outil soit assez important.

Son applicabilité au domicile ou au sein de petites cliniques n'est pas envisageable, il l'est sans doute pour des grandes infrastructures (hôpitaux). Mais au vu des résultats la question se pose si investir dans une telle technologie est pertinent ou non, même si les résultats montrent une amélioration chez la plupart des participants, ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs.

De plus l'installation et la programmation possèdent un coût important. En effet, selon la pathologie que nous souhaitons traiter il faudra investir dans des logiciels pour pouvoir traiter au mieux le patient. L'achat également de matériel pour s'adapter aux capacités des patients peut être aussi important, comme exemple l'achat d'un pédalier à bras pour les patients amputés du membre supérieur.

Au niveau du coût humain, il est assez faible. Le patient a juste besoin de la présence d'un thérapeute pour assurer sa sécurité. Mais comme évoqué précédemment, cela implique que la prise en charge d'un autre patient est impossible. Cela peut être un problème pour l'organisation des soins de ces patients au sein de l'hôpital.

4.3 Qualité des preuves

La qualité des preuves d'une revue s'effectue grâce aux différents grades de recommandations édités par l'HAS (Haute Autorité de Santé). Ils permettent de classer les recommandations sur la base des niveaux de preuves. Les recommandations sont classées en 3 grades : A, B et C [27].

Ces grades sont définis de la manière suivante :

- Une recommandation de grade A est fondée sur une preuve scientifique établie par des études de fort niveau de preuve.

- La recommandation de grade B est fondée sur une présomption scientifique fournie par des études de niveau intermédiaire de preuve.
- Et enfin, la recommandation de grade C est fondée sur des études de moindre niveau de preuve.

Les grades de recommandations sont détaillés dans un tableau :

Grade de recommandations	Niveau de preuve fourni dans la littérature
Grade A : Preuve scientifique établie	Niveau 1 : <ul style="list-style-type: none"> - Essais comparatifs randomisés de forte puissance, - Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés, - Analyse de décision fondée sur des études bien menées.
Grade B : Présomption scientifique	Niveau 2 : <ul style="list-style-type: none"> - Essais comparatifs randomisés de faible puissance, - Études comparatives non randomisées bien menées, - Études de cohortes.
Grade C : Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 : <ul style="list-style-type: none"> - Études cas-témoins.
	Niveau 4 : <ul style="list-style-type: none"> - Études comparatives comportant des biais importants, - Études rétrospectives, - Séries de cas, - Études épidémiologiques descriptives (transversales, longitudinales).

Tableau 7 : Les différents grades de recommandation de l'HAS.

Dans cette revue de littérature, les études incluses sont des séries de cas. Le niveau de preuve fourni par la littérature est donc le niveau 4, le grade de recommandation de cette revue est par définition le grade C.

4.4 Biais potentiel de la revue

4.4.1 Biais de la revue (échelle AMSTAR)

La qualité méthodologique d'une revue doit prendre en compte les principes Evidence Based Medicine et la pratique fondée sur les preuves. Nous devons évaluer la qualité méthodologique de notre revue de littérature, pour appliquer ses résultats, ou non, dans la pratique clinique.

Pour évaluer la qualité de méthodologie nous avons utilisé l'échelle AMSTAR (**ANNEXE 2**). Elle va nous permettre de montrer la validité interne de cette revue, elle est composée de 11 items qui explorent la qualité méthodologique des revues de littérature.

AMSTAR	It. 1	It. 2	It. 3	It. 4	It. 5	It. 6	It. 7	It 8	It.9	It.10	It.11
OUI	X		X	X	X	X	X	X			
NON		X							X	X	
Impossible de répondre											X
Sans objet											

Tableau 8 : Résumé du score AMSTAR de la revue de littérature.

Les biais principaux trouvés concernent les items 2,9 et 10. L’item 2 concerne le fait que la sélection des études et l’extraction des données n’a pas été confiée à au moins deux personnes mais seulement à une seule. Cette revue de littérature entrant dans le cadre de l’obtention du diplôme d’état de masso-kinésithérapeute, il fait l’objet d’un travail de recherche personnel.

L’item 9 regarde les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études incluses, pour démontrer l’homogénéité ou l’hétérogénéité des résultats. Pour montrer cette homogénéité des résultats, il faut calculer le chi carré. Malheureusement, nous ne sommes pas formés pour calculer ce chi carré et l’interpréter.

L’item 10 évalue la probabilité d’un biais de publication. En effet, nous n’avons les compétences pour effectuer un diagramme de dispersion et donc d’évaluer ce biais. Toutefois, nous devons en tenir compte.

4.4.2 Analyse critique de la revue

L’interprétation des résultats des études utilisées pour la rédaction de cette revue de littérature doit prendre en compte divers biais rencontrés.

Premièrement, la taille des échantillons n’est pas la même en fonction des études. En effet, la taille varie entre 3 patients au minimum et 14 patients au maximum. Pour l’étude de Rutledge 2020 la taille est de 14, pour Thogersen 2020 la taille est de 7 patients, pour Kulkarni 2019 le nombre de sujet est 11, pour Murray 2007 l’étude a inclus 3 patients, pour Cole 2009 le nombre de participant est de 14, et enfin pour Mercie et Sirigu 2009 la taille de l’échantillon est de 8 patients.

Ceci constitue donc un biais dans notre revue, car ces échantillons peuvent constituer une source d’erreur dans les résultats obtenus du fait de leur petit nombre. Nous savons que pour avoir une faible marge d’erreur, il faut que la taille de la population soit assez grande.

De plus pour que nos échantillons soient représentatifs de la population générale des amputés, il faut qu’ils possèdent les mêmes caractéristiques que cette population.

Or dans nos études, il y a plus de participants avec une amputation du membre supérieur que du membre inférieur, donc nos résultats obtenus ne peuvent être transposables à la population générale des amputés du membre inférieur.

Il en est de même pour ceux du membre supérieur, même si les études admettent plus de patient amputé du membre supérieur, leur nombre reste quand même trop faible pour être représentatif de l'ensemble des amputés du membre supérieur.

Il ne faut pas oublier, que dans ces études, le niveau d'amputation n'est pas précisé. Nous ne pouvons pas déduire si ce traitement a plus d'effet sur un type d'amputation précis ou non. Ceci nous prouve encore plus, que les échantillons dont nous disposons ne nous permettent pas d'appliquer les résultats à l'ensemble de la population des amputés.

Dans les études utilisées, nous pouvons également noter que les protocoles utilisés dans le système de réalité virtuelle n'est pas le même selon les études.

En effet, chaque étude a un protocole propre, que ce soit dans les tâches demandées pendant les séances de réalité virtuelle ou dans la fréquence et le nombre de séance que les patients ont pu réaliser. Ceci constitue un autre biais au sein de notre étude.

Ce biais est présent au niveau du nombre de séance de réalité virtuelle reçues par les patients, d'une étude à une autre ce nombre varie. Pour Rutledge 2019 les participants ont reçu 57 séances allant de 40 à 60 minutes, pour Thogersen 2020 ils ont 8 séances de 45 minutes, pour Kulkarni 2019 les patients ont réalisé 3 séances de 30 minutes, pour Murray 2007 le nombre de séances réalisées varie de 2 à 5 séances de 30 minutes selon les patients, pour Cole 2009 le nombre de séance n'est pas donné mais nous avons la durée qui varie de 60 à 90 minutes en fonction de la fatigue du patient, et enfin pour Mercie et Sirigu 2009 les patients ont bénéficié de 16 séances de 30 à 60 minutes.

Il est donc compliqué de supposer si un nombre, en particulier, de séances est efficace pour traiter la douleur fantôme. De plus, en fonction des études, les séances de réalité virtuelle ne sont pas menées de la même manière, selon certaines études les séances sont découpées en plusieurs tâches/objectifs que le patient doit réaliser, d'autres encore ne font que du pédalier jambes ou bras selon l'amputation et d'autres études ne décrivent pas le contenu de leurs séances.

En prenant en compte le nombre de séance, leur durée et leur contenu, au vu de l'hétérogénéité des protocoles des études incluses, il est difficile de déterminer le protocole le plus efficace pour traiter la douleur fantôme.

Dans cette revue, nous rencontrons un autre biais qui concerne les échelles. Tous les articles n'utilisent pas les mêmes échelles pour évaluer les résultats. Cela va nous limiter dans la comparaison de ces derniers.

En effet, pour évaluer la douleur, un article utilise le phantom limb pain questionnaire, pour deux autres articles c'est l'échelle numérique qui est utilisée, dans deux articles nous

retrouvons le Mc Gill Pain questionnaire, et nous avons l'EVA qui est également utilisée dans deux articles.

Le fait que nous nous retrouvions avec autant d'échelles différentes pour évaluer le même critère de jugement qui est la douleur fantôme, va être une source de biais dans la comparaison des résultats et dans leur interprétation.

Cependant, il ne faut pas oublier de préciser que certains articles peuvent manquer de précision dans leurs résultats concernant nos critères de jugement. Dans la plupart des articles inclus, ils n'évaluent pas uniquement la douleur fantôme, ou le nombre d'épisodes douloureux et leur durée.

Par exemple pour Rutledge 2019, il évalue le ressenti des patients vis-à-vis de la réalité virtuelle (l'impression d'immersion au sein de la réalité virtuelle, les effets positifs ou négatifs selon les patients, les avis des patients sur l'utilité ou non de cette thérapeutique...).

Les études se concentrant sur plusieurs critères différents, en plus de nos critères de jugement, peuvent manquer de rigueur dans la récolte des résultats que nous souhaitons exploiter.

5 Conclusion

5.1 Implication pour la pratique clinique

Grâce à cette revue, nous avons pu mettre en évidence que la réalité virtuelle permettait de réduire l'intensité des douleurs fantômes chez la majorité des participants des études incluses.

Les résultats des études montrent en majorité une diminution de l'intensité de cette douleur, cependant ces résultats restent assez hétérogènes dans le temps. En effet, sur la durée les intensités peuvent re-augmenter. Malheureusement, tous les articles de cette revue ne montrent pas que les différences observées sont statistiquement significatives.

En ce qui concerne les résultats du nombre d'épisodes douloureux et leur durée, la réalité virtuelle n'a pas forcément d'impact. En effet, nous avons autant de sujets qui ne présentent aucun changement que de sujets qui présentent une diminution. Mais, cette observation n'est pas statistiquement significative.

Toutefois, nous ne pouvons pas conclure, avec certitude, de l'efficacité de l'intervention, d'autant plus si nous prenons en compte le rapport coût/efficacité.

Il faut garder en tête que les études ont montré des résultats négatifs chez certains patients après l'intervention. En effet, certains sujets ont indiqué une augmentation de l'intensité de la douleur ainsi que du nombre d'épisode. Pour éviter que l'utilisation de la réalité virtuelle engendre des réactions délétères, il serait peut-être pertinent de réaliser une séance avec un psychologue pour déterminer si le patient peut recevoir cette thérapie sans aggraver sa symptomatologie.

5.2 Implication pour la recherche

Cette revue a permis de mettre en évidence une possible efficacité de la réalité virtuelle dans la prise en charge des douleurs fantômes chez les amputés.

Cependant, les effets sont à modérer étant donné des tailles d'échantillons faibles et ainsi qu'une généralisation des résultats difficile. En ajoutant un niveau de preuve faible et le manque de fiabilité de cette revue de littérature, nous ne pouvons avoir une confiance absolue en la qualité scientifique des résultats.

Pour affirmer davantage l'efficacité de cette thérapeutique, il serait intéressant de réaliser des études avec des tailles d'échantillons plus importants enfin de représenter au mieux la population réelle des amputés. De plus, il sera pertinent de réaliser des études sur une plus longue durée, avec un nombre régulier de séance de réalité virtuelle par semaine, pour observer et analyser les effets de cette intervention à long terme.

Nous pouvons noter qu'avec la réalité virtuelle, le patient peut réaliser ses exercices en autonomie, malgré une certaine surveillance du praticien. La préservation de l'autonomie est primordiale pour le patient et d'autant plus dans ce type de pathologie, que ce soit d'un point de vue de dépendance physique et que d'un point de vue psychique.

6 Bibliographie

- [1] « Tremblay Bruno, 1995, formation permanente, développement et santé 'les amputations. » En ligne : <https://devsante.org/articles/les-amputations>.
- [2] « Vidéo de INRAP 'amputer au moyen âge'. » En ligne : <https://www.inrap.fr/amputer-au-moyen-age-lectures-des-sources-historiques-et-des-archives-du-sol-11716>.
- [3] « Amputation des membres supérieurs et inférieurs consortium national de formation en santé, université d'Ottawa. » En ligne : <https://cnfs.ca/pathologies/amputation-membres-inferieurs-et-superieurs>.
- [4] « Chirurgie de l'amputation des membres inférieurs : réponses à vos questions' Hôpitaux de Genève. »
- [5] M. Zingg, J. D. Nicodème, I. Uçkay, A. Ray, and D. Suva, « Amputations du membre inférieur : indications, bilan et complications » *Rev. Med. Suisse*, vol. 10, no. 455, pp. 2409–2413, 2014.
- [6] « Amputation de la jambe' Ooreka santé. » En ligne : <https://prothese.ooreka.fr/astuce/voir/656871/amputation-de-la-jambe>.
- [7] Les pathologies cardiovasculaires « les artériopathies oblitérantes » disponible sur le site de la fédération française de cardiologie. En ligne : <https://www.fedecardio.org/Les-maladies-cardio-vasculaires/Les-pathologies-cardio-vasculaires/larteriopathie-oblitterante>.
- [8] I. OMS, Organisation mondiale de la sante « guide de prévention des maladies cardiovasculaires » guide de poche pour l'évaluation et la prise en charge du risque cardiovasculaire, Genève 2007. En ligne : https://www.who.int/topics/cardiovascular_diseases/fr/.
- [9] Par J. C. Faculté de médecine Warembourg Henri, « thèse complication lors de la prise en charge des patients amputés de membres inférieurs à l'hôpital » pierre Swynghedauw : étude rétrospective et comparaison à la littérature médicale, 2016.
- [10] I. régional de médecine physique et de réadaptation et collège français des enseignants universitaires de médecine physique et de réadaptation JM. André et J. Paysan, « les amputés en chiffre : épidémiologie, » vol. 1994, pp. 1–9, 2006.
- [11] A. F.-C. S. Fosse, A. Hartemann-Heurtierb, S. Jacqueminetb, M.-C. Mouquetc, P. Oberlinc, « Évolution du taux d'incidence des amputations d'un membre inférieur chez les personnes diabétiques et devenir à trois ans des personnes diabétiques amputées, selon les données du PMSI, » *Rev. Epidemiol. Sante Publique*, vol. 58, pp. S17–S18, 2010, doi: 10.1016/j.respe.2010.02.042.

- [12] T. Dalivoust, « Essais cliniques de miroir-thérapie chez des patients amputés de membre inférieur : effets sur l'algohallucinoïse » 2011.
- [13] A. Ouerdiene, S. Khalbous, H. Essoussi, R. Friaa, M. Kolsi, and M. Haddad, « Alghallucinoïse ou douleur du membre fantôme : à propos de 18 cas » *Rev. Neurol. (Paris)*, vol. 176, p. S34, 2020, doi: 10.1016/j.neurol.2020.01.130.
- [14] M. Fourtassi, « la récupération après accident Vasculaire cérébral : rôle de la plasticité cérébrale » pp. 70–74, 2014.
- [15] D. Perez-Marcos, « Virtual reality experiences, embodiment, videogames and their dimensions in neurorehabilitation » *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1186/s12984-018-0461-0.
- [16] B. Chi, B. Chau, E. Yeo, and P. Ta, « Virtual reality for spinal cord injury-associated neuropathic pain: Systematic review » *Ann. Phys. Rehabil. Med.*, vol. 62, no. 1, pp. 49–57, 2019, doi: 10.1016/j.rehab.2018.09.006.
- [17] J. Dunn, E. Yeo, P. Moghaddampour, B. Chau, and S. Humbert, « Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review » *NeuroRehabilitation*, vol. 40, no. 4, pp. 595–601, 2017, doi: 10.3233/NRE-171447.
- [18] E. Ambron, A. Miller, K. J. Kuchenbecker, L. J. Buxbaum, and H. B. Coslett, « Immersive low-cost virtual reality treatment for phantom limb pain: Evidence from two cases » *Front. Neurol.*, vol. 9, no. FEB, pp. 1–7, 2018, doi: 10.3389/fneur.2018.00067.
- [19] B. N. Perry *et al.*, « Virtual integration environment as an advanced prosthetic limb training platform » *Front. Neurol.*, vol. 9, no. OCT, 2018, doi: 10.3389/fneur.2018.00785.
- [20] T. Rutledge *et al.*, « A Virtual Reality Intervention for the Treatment of Phantom Limb Pain: Development and Feasibility Results » *Pain Med. (United States)*, vol. 20, no. 10, pp. 2051–2059, 2019, doi: 10.1093/pm/pnz121.
- [21] M. Thøgersen, J. Andoh, C. Milde, T. Graven-Nielsen, H. Flor, and L. Petrini, « Individualized Augmented Reality Training Reduces Phantom Pain and Cortical Reorganization in Amputees: A Proof of Concept Study » *J. Pain*, vol. 21, no. 11–12, pp. 1257–1269, 2020, doi: 10.1016/j.jpain.2020.06.002.
- [22] J. Kulkarni, S. Pettifer, S. Turner, and C. Richardson, « An investigation into the effects of a virtual reality system on phantom limb pain: a pilot study » *Br. J. Pain*, vol. 14, no. 2, pp. 92–97, 2019, doi: 10.1177/2049463719859913.
- [23] C. D. Murray *et al.*, « The treatment of phantom limb pain using immersive virtual reality: Three case studies » *Disabil. Rehabil.*, vol. 29, no. 18, pp. 1465–1469, 2007, doi: 10.1080/09638280601107385.

- [24] J. Cole, S. Crowle, G. Austwick, and D. Henderson Slater, « Exploratory findings with virtual reality for phantom limb pain; From stump motion to agency and analgesia » *Disabil. Rehabil.*, vol. 31, no. 10, pp. 846–854, 2009, doi: 10.1080/09638280802355197.
- [25] C. Mercier and A. Sirigu, « Training with virtual visual feedback to Alleviate Phantom Limb Pain » no. Cm, pp. 587–594, 2009.
- [26] N. Salkind, « West Haven-Yale Multidimensional Pain Inventory » *Encycl. Meas. Stat.*, pp. 1–7, 2015, doi: 10.4135/9781412952644.n481.
- [27] Haute Autorité de santé, « Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique » *Etat des lieux*, p. 192, 2013.

7 Annexes

ANNEXE 1 : Newcastle Ottawa Scale

SÉLECTION	<p>1. Représentativité de l'échantillon :</p> <p>a : Vraiment représentative de la moyenne de la population cible (tous sujet ou échantillonnage aléatoire). *</p> <p>b : Quelque peu représentative de la moyenne du groupe cible *</p> <p>c : groupe sélectionné d'utilisateurs/échantillon de commodité.</p> <p>d : Aucune description de la dérivation des sujets inclus.</p>
	<p>2. La taille de l'échantillon :</p> <p>a : Justifié et satisfaisant. *</p> <p>b : Pas justifié</p> <p>c : Aucune information fournie</p>
	<p>3. Non répondants :</p> <p>a : La proportion de l'échantillon cible recruté atteint la cible prédéfinie ou le résumé de base des caractéristiques des non-répondants dans la base de sondage enregistrée.*</p> <p>b : Le taux de recrutement insatisfaisant, pas de données synthétiques sur les non répondants.</p> <p>c : Aucune information fournie</p>
	<p>4. Vérification de l'exposition :</p> <p>a : dossiers de vaccin, registre de vaccin, registre clinique, dossier hospitaliers uniquement. **</p> <p>b : Rappel parental ou personnel et dossier hospitalier.*</p> <p>c : Rappel parental ou personnel uniquement</p>
COMPARABILITY	<p>1. Comparabilité des sujets dans différents groupes de résultats sur la base de la conception ou de l'analyse. Facteurs de confusion contrôlés :</p> <p>a : Données, résultats ajustés pour les prédicteurs, facteurs de risque, facteurs de confusion pertinents.**</p> <p>b : Données / résultats non ajustés pour tous les facteurs de confusion / facteurs de risque / informations non fournis.</p>
OUTCOME	<p>1. Évaluation des résultats :</p> <p>a : Évaluation indépendante à l'aveugle utilisant des méthodes de laboratoire objectives validées.**</p> <p>b : Évaluation sans insu à l'aide de méthodes de laboratoire objectives validées.**</p> <p>c : Utilisé des méthodes de laboratoire non standard ou non validées. *</p> <p>d : Aucune description / méthodes de laboratoire non standard utilisées.</p>
	<p>2. Tests statistiques :</p> <p>a : Test statistique utilisé pour analyser les données clairement décrites, appropriées et les mesures d'association présentées, y compris les intervalles de confiance et le niveau de probabilité (valeur p).*</p> <p>b : Test statistique non approprié, non décrit ou incomplet.</p>

ANNEXE 2 : Grille AMSTAR : grille d'évaluation méthodologique d'une revue de littérature



**AMSTAR – GRILLE D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ
MÉTHODOLOGIQUE DES REVUES SYSTÉMATIQUES**

AMSTAR : a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews

1. Un plan de recherche établi a priori est-il fourni?

La question de recherche et les critères d'inclusion des études doivent être déterminés avant le début de la revue.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Pour que la réponse soit « oui », il doit y avoir un protocole, l'approbation d'un comité d'éthique ou des objectifs d'étude prédéterminés ou établis a priori.

Commentaire :

2. La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes?

Au moins deux personnes doivent procéder à l'extraction des données de façon indépendante, et une méthode de consensus doit avoir été mise en place pour le règlement des différends.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Deux personnes sélectionnent les études, deux personnes procèdent à l'extraction des données, puis elles se mettent d'accord ou vérifient leur travail respectif.

Commentaire :

ANNEXE 2 : Grille AMSTAR (suite)

3. La recherche documentaire était-elle exhaustive?

Au moins deux sources électroniques doivent avoir été utilisées. Le rapport doit comprendre l'horizon temporel de la recherche et les bases de données interrogées (Central, EMBASE et MEDLINE, par exemple). Les mots clés et (ou) les termes MeSH doivent être indiqués et, si possible, la stratégie de recherche complète doit être exposée. Toutes les recherches doivent être complétées par la consultation des tables des matières de revues scientifiques récentes, de revues de la littérature, de manuels, de registres spécialisés ou d'experts dans le domaine étudié et par l'examen des références fournies dans les études répertoriées.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si on a consulté au moins deux sources et eu recours à une stratégie complémentaire, cocher « oui » (Cochrane + Central = deux sources; recherche de la littérature grise = stratégie complémentaire).

Commentaire :

4. La nature de la publication (littérature grise, par exemple) était-elle un critère d'inclusion?

Les auteurs doivent indiquer s'ils ont recherché tous les rapports, quel que soit le type de publication, ou s'ils ont exclu des rapports (de leur revue systématique) sur la base du type de publication, de la langue, etc.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si les auteurs indiquent qu'ils ont recherché la littérature grise ou non publiée, cocher « oui ». La base de données SIGLE, les mémoires, les actes de conférences et les registres d'essais sont, en l'occurrence, tous considérés comme de la littérature grise. Si la source renfermait de la littérature grise, mais aussi de la littérature à large diffusion, les auteurs doivent préciser qu'ils recherchaient de la littérature grise ou non publiée.

Commentaire :

5. Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie?

Une liste des études incluses et exclues doit être fournie.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Il est acceptable de s'en tenir aux études exclues. S'il y a un hyperlien menant à la liste, mais que celui-ci est mort, cocher « non ».

Commentaire :

ANNEXE 2 : Grille AMSTAR (suite)

6. Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées?

Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études originales, les interventions qu'ils ont reçues et les résultats doivent être regroupées, sous forme de tableau, par exemple. L'étendue des données sur les caractéristiques des sujets de toutes les études analysées (âge, race, sexe, données socio-économiques pertinentes, nature, durée et gravité de la maladie, autres maladies, par exemple) doit y figurer.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Ces données ne doivent pas nécessairement être présentées sous forme de tableau, pour autant qu'elles soient conformes aux exigences ci-dessus.

Commentaire :

7. La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée?

Les méthodes d'évaluation déterminées a priori doivent être indiquées (par exemple, pour les études sur l'efficacité pratique, le choix de n'inclure que les essais cliniques randomisés à double insu avec placebo ou de n'inclure que les études où l'affectation des sujets aux groupes d'étude était dissimulée); pour d'autres types d'études, d'autres critères d'évaluation seront à prendre en considération.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Ici, les auteurs peuvent avoir utilisé un outil ou une grille quelconque pour évaluer la qualité (score de Jadad, évaluation du risque de biais, analyse de sensibilité, etc.) ou peuvent exposer les critères de qualité en indiquant le résultat obtenu pour CHAQUE étude (un simple « faible » ou « élevé » suffit, dans la mesure où l'on sait exactement à quelle étude l'évaluation s'applique; un score général n'est pas acceptable, pas plus qu'une plage de scores pour l'ensemble des études).

Commentaire :

8. La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions?

Les résultats de l'évaluation de la rigueur méthodologique et de la qualité scientifique des études incluses doivent être pris en considération dans l'analyse et les conclusions de la revue, et formulés explicitement dans les recommandations.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Voici une formulation possible : « La faible qualité des études incluses impose la prudence dans l'interprétation des résultats ». On ne peut cocher « oui » à cette question si on a coché « non » à la question 7.

Commentaire :

9. Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées?

Si l'on veut regrouper les résultats des études, il faut effectuer un test d'homogénéité afin de s'assurer qu'elles sont combinables (chi carré ou I^2 , par exemple). S'il y a hétérogénéité, il faut utiliser un modèle d'effets aléatoires et (ou) vérifier si la nature des données cliniques justifie la combinaison (la combinaison est-elle raisonnable?).

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Cocher « oui » si on souligne ou explique la nature hétérogène des données, par exemple si les auteurs expliquent que le regroupement est impossible en raison de l'hétérogénéité ou de la variabilité des interventions.

Commentaire :

10. La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée?

Une évaluation du biais de publication doit comprendre une association d'outils graphiques (diagramme de dispersion des études ou autre test) et (ou) des tests statistiques (test de régression d' Egger, méthode de Hedges et Olkin, par exemple).

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

Si les auteurs ne fournissent aucun résultat de test ni diagramme de dispersion des études, cocher « non ». Cocher « oui » s'ils expliquent qu'ils n'ont pas pu évaluer le biais de publication, parce qu'ils ont inclus moins de 10 études.

Commentaire :

11. Les conflits d'intérêts ont-ils été déclarés?

Les sources possibles de soutien doivent être déclarées, tant pour la revue systématique que pour les études qui y sont incluses.

Oui Non Impossible de répondre Sans objet

Remarque :

On ne peut cocher « oui » que si la source de financement ou de soutien de la revue systématique ET de chaque étude incluse est indiquée.

Commentaire :

Appréciation générale

ANNEXE 4 : Phantom limb pain questionnaire

AFTER Amputation

Please indicate how strong the **pain** was *immediately after* amputation.

|
No Pain | Unbearable Pain

Please describe this pain: _____

How long did this pain persist *after* amputation?

Several days One week One month Several months More than six months

Where in the limb was this pain located?

In the upper portion, i.e. the remaining stump In the lower extremity, i.e. the phantom limb
 In the entire limb, i.e. the stump and phantom Other: _____

Were there any complications after amputation (such as stump wound infections, presence of neuromas, presence of contractures)? Did you have multiple operations? _____

Phantom Limb Experiences

Often after amputation (or even for congenitally absent limbs) people report that they can still feel the presence of their missing limb. These experiences are known as phantom limbs and are sometimes manifested as voluntary movements, tingling feelings or even pain.

Have you had any phantom limb experiences in/of the missing limb? Yes No

How long after your amputation did the experiences first appear?

Immediately Within days Within one week Within one month
 After a few months More than six months later: _____ N/A

Do you still have any phantom limb experiences in/of the missing limb? Yes No

If no, when did they disappear? _____

How often do / did these **sensations** occur?

Permanent Several times a day Once a day Several times a week Once a week
 Once a fortnight Once a month Less than once a month N/A

ANNEXE 4 : Phantom limb pain questionnaire

Please indicate the level of **pain** associated with the *phantom limb* (i.e. not the stump) at its worst.

+-----+
No Pain Unbearable Pain

How often does / did this **pain** occur?

- Permanent Several times a day Once a day Several times a week Once a week
 Once a fortnight Once a month Less than once a month N/A

Please describe this pain: _____

What triggers the pain? _____

Has the pain been treated (e.g. medication, physiotherapy, massage, amputation)? Yes No N/A

If so, how? _____

Does seeing someone else *move* their arm ever cause your phantom limb to imitate their action?

- Yes No

Does seeing someone else *touched* ever trigger a corresponding feeling of touch to your phantom limb?

- Yes No

Can you actively *choose to move* your phantom limb (e.g. to reach for or kick an object)?

- Yes No

Does your phantom limb ever *move spontaneously* (e.g. to avoid being hurt or to instinctively grab hold)?

- Yes No

Does it feel like you could carry out *combined movements* of the intact and phantom limbs (e.g. gesticulating or clapping)?

- Yes No

When you dream, is your missing limb present?

- Yes No

Does your phantom *hand/foot* appear to be normal in size? Normal Enlarged Shrunken

Does your phantom *arm/leg* appear to be normal in length? Normal Longer Shorter

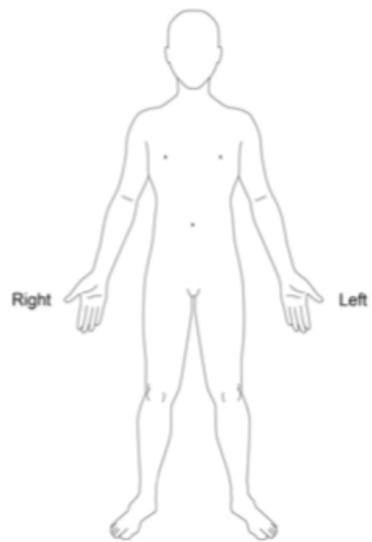
If longer or shorter, then by how much? _____

When wearing a prosthesis does / did your phantom limb occupy the same space as the prosthesis?

- Yes No N/A

ANNEXE 4 : Phantom limb pain questionnaire

Please indicate the location, size and length of your *phantom sensations*.
(Draw it and indicate its estimated distance in centimeters or inches from either the elbow or knee.)



Résumé/Abstract

Introduction : À la suite d'une amputation, les patients peuvent présenter plusieurs complications. Une des complications les plus fréquentes est la douleur fantôme, elle est ressentie chez 60% à 80% des amputés. Cette douleur peut devenir très invalidante et handicapante dans la vie quotidienne des patients.

Objectif : Mettre en avant l'efficacité de la réalité virtuelle sur la réduction des douleurs fantômes.

Méthodologie de recherche : Critères d'inclusions définis : amputés, adultes (âgés de plus de 18 ans), présentant des douleurs fantômes. Les critères de jugement choisis sont l'évolution de la douleur fantôme (EVA, Mc Gill Pain questionnaire, EN, Phantom limb pain questionnaire), le nombre d'épisodes douloureux, et leurs durées.

Résultats et analyses : Pour l'intervention de la réalité virtuelle, malgré une amélioration de l'intensité de la douleur fantôme chez la majorité des participants, nous ne retrouvons pas de « p » statistiquement significatif. Concernant le nombre d'épisodes douloureux et leurs durées, nous notons une diminution du nombre d'épisodes également chez la majorité des patients. Cependant, cette diminution ne présente pas de « p » statistiquement significatif.

Discussion : L'efficacité de la réalité virtuelle ne peut pas être affirmée par manque de signification statistique. Il a été mis en évidence que cette thérapie pouvait participer à la diminution des douleurs fantômes. Cependant, le manque de participants dans les études limite la généralisation des résultats observés.

Mots-clés : Amputés - Réalité virtuelle – Diminution de la douleur fantôme.

Introduction : Following an amputation, patients can have several complications. One of the most common complications is phantom pain, which is experienced in 60% to 80% of amputees. This pain can become very debilitating and disabling in the daily life of patients.

Objective : Highlight the effectiveness of virtual reality in reducing phantom pain.

Research Methodology : Inclusion criteria defined: amputees, adults (aged over 18), with phantom pain. The outcomes chosen are the course of phantom pain (VAS, Mc Gill Pain questionnaire, EN, Phantom limb pain questionnaire), the number of pain episodes, and their duration.

Results and analyze : For the virtual reality intervention, despite an improvement in the intensity of phantom pain in the majority of participants, a statistically significant "p" was not found. Regarding the number of painful episodes and their duration, we note a decrease in the number of episodes also in the majority of patients. However, this decrease does not present a statistically significant "p".

Discussion : The effectiveness of virtual reality cannot be said for lack of statistical significance. It has been demonstrated that this therapy could participate in the reduction of phantom pain. However, the lack of participants in the studies limits the generalization of the observed results.

Keywords : Amputees – Virtual reality – decrease in phantom pain.