

2025-2026

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

Qualification en Médecine Générale

INTÉRÊT DE L'UTILISATION DE LA RÉALITÉ VIRTUELLE IMMERSIVE DANS LA RÉÉDUCATION DES ENTORSES AIGÜES DU PLAN LATÉRAL DE CHEVILLE CHEZ LES ATHLÈTES PROFESSIONNELS ET SEMI- PROFESSIONNELS

PROTOCOLE DE RECHERCHE

PORCHER Sarah

Née le 11 juillet 1998 à Vendôme (41)

Sous la direction de Monsieur le Docteur CHAMPAGNE Romain

Membres du jury

Monsieur le Professeur ABRAHAM Pierre | Président

Monsieur le Docteur CHAMPAGNE Romain | Directeur

Madame le Docteur LETELLIER Doriane | Membre



Soutenue publiquement le :
27 août 2026

ENGAGEMENT DE NON-PLAGIAT

Je, soussignée Sarah Porcher, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signé par l'étudiante le **23/04/2026**

Charte d'utilisation de l'IA générative

Je, soussignée Sarah Porcher, déclare avoir pris connaissance et accepte de respecter la Charte d'utilisation de l'IA générative pour la rédaction des rapports, thèses d'exercice et mémoires d'étude. Je m'engage à utiliser ces outils conformément aux règles et recommandations énoncées dans la charte.

Angers le 23/04/2026

Signature



SERMENT D'HIPPOCRATE

« Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu (e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré (e) et méprisé(e) si j'y manque ».

Doyen de la Faculté : Pr Cédric ANNWEILER

Vice-Doyen de la Faculté et directeur du département de pharmacie : Pr Sébastien FAURE

Directeur du département de médecine : Pr Vincent DUBÉE

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

ABRAHAM Pierre	PHYSIOLOGIE	KEMPF Marie	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ;
ANGOULVANT Cécile	MEDECINE GENERALE		HYGIENE HOSPITALIERE
ANNWEILER Cédric	GERIATRIE ET BIOLOGIE DU	KUN-DARBOIS Daniel	CHIRURGIE MAXILLO-FACIALE
	VIEILLISSEMENT		ET STOMATOLOGIE
ASFAR Pierre	REANIMATION	LACOEUILLE FRANCK	RADIOPHARMACIE
AUBE Christophe	RADIOLOGIE ET IMAGERIE	LACCOURREYE Laurent	OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE
	MEDICALE	LAGARCE Frédéric	BIOPHARMACIE
AUGUSTO Jean-François	NEPHROLOGIE	LANDREAU Anne	BOTANIQUE/ MYCOLOGIE
BAUFRETON Christophe	CHIRURGIE THORACIQUE ET	LASOCKI Sigismond	ANESTHESIOLOGIE-
	CARDIOVASCULAIRE		REANIMATION
BELLANGER William	MEDECINE GENERALE	LEBDAI Souhil	UROLOGIE
BELONCLE François	REANIMATION	LEGENDRE Guillaume	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE
BIERE Loïc	CARDIOLOGIE	LEGRAND Erick	RHUMATOLOGIE
BIGOT Pierre	UROLOGIE	LEMEE Jean-Michel	NEUROCHIRURGIE
BOUCHARA Jean-	PARASITOLOGIE ET	LERMITE Emilie	CHIRURGIE GENERALE
Philippe	MYCOLOGIE	LEROLLE Nicolas	REANIMATION
BOUET Pierre-Emmanuel	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE	LIBOUBAN Hélène	HISTOLOGIE
BOURSIER Jérôme	GASTROENTEROLOGIE-	LUQUE PAZ Damien	HEMATOLOGIE BIOLOGIQUE
	HEPATOLOGIE	MARCHAIS Véronique	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
BOUVARD Béatrice	RHUMATOLOGIE	MARTIN Ludovic	DERMATO-VENEREOLOGIE
BRIET Claire	ENCRINOLOGIE, DIABETE ET	MAY-PANLOUP Pascale	BIOLOGIE ET MEDECINE DU
	MALADIES METABOLIQUES		DEVELOPPEMENT ET DE LA
BRIET Marie	PHARMACOLOGIE		REPRODUCTION
CAMPONE Mario	CANCEROLOGIE,	MENEI Philippe	NEUROCHIRURGIE
	RADIOTHERAPIE	MERCAT Alain	REANIMATION
CASSEREAU Julien	NEUROLOGIE	ORVAIN Corentin	HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION
CLERE Nicolas	PHARMACOLOGIE/	PAISANT Anita	RADIOLOGIE
	PHYSIOLOGIE	PAPON Nicolas	PARASITOLOGIE ET
CODRON Philippe	NEUROLOGIE		MYCOLOGIE MEDICALE
COLIN Estelle	GENETIQUE	PASSIRANI Catherine	CHIMIE GENERALE
COPIN Marie-Christine	ANATOMIE, CYTOLOGIE	PELLIER Isabelle	PEDIATRIE
	PATHOLOGIQUES	PETIT Audrey	MEDECINE ET SANTE AU
COUTANT Régis	PEDIATRIE		TRAVAIL
CUSTAUD Marc-Antoine	PHYSIOLOGIE	PICQUET Jean	CHIRURGIE VASCULAIRE ;
CRAUSTE-MANCIET	PHARMACOTECHNIQUE		MEDECINE VASCULAIRE
Sylvie	HOSPITALIERE	PODEVIN Guillaume	CHIRURGIE INFANTILE
DE CASABIANCA	MEDECINE GENERALE	PROCACCIO Vincent	GENETIQUE
Catherine		PRUNIER Delphine	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE
DERBRE Séverine	PHARMACOGNOSIE		MOLECULAIRE
DESCAMPS Philippe	GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE	PRUNIER Fabrice	CARDIOLOGIE
D'ESCATHA Alexis	MEDECINE ET SANTE AU	PY Thibaut	MEDECINE GENERALE
	TRAVAIL	RAMOND-ROQUIN Aline	MEDECINE GENERALE
DINOMAS Mickaël	MEDECINE PHYSIQUE ET	REYNIER Pascal	BIOCHIMIE ET BIOLOGIE
	READAPTATION		MOLECULAIRE
DOUILLET Delphine	MEDECINE D'URGENCE	RIOU Jérémie	BIOSTATISTIQUE
DUBÉE Vincent	MALADIES INFECTIEUSES ET	RINEAU Emmanuel	ANESTHESIOLOGIE
	TROPICALES		REANIMATION
DUCANCELLE Alexandra	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE ;	RIQUIN Elise	PEDOPSYCHIATRIE ;
	HYGIENE HOSPITALIERE		ADDICTOLOGIE
DUVERGER Philippe	PEDOPSYCHIATRIE	RODIEN Patrice	ENDOCRINOLOGIE, DIABETE
EVEILLARD Matthieu	BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE		ET MALADIES METABOLIQUES
FAURE Sébastien	PHARMACOLOGIE	ROQUELAURE Yves	MEDECINE ET SANTE AU
	PHYSIOLOGIE		TRAVAIL
FOURNIER Henri-	ANATOMIE	ROUGE-MAILLART	MEDECINE LEGALE ET DROIT
Dominique		Clotilde	DE LA SANTE
FOUQUET Olivier	CHIRURGIE THORACIQUE ET	ROUSSEAU Audrey	ANATOMIE ET CYTOLOGIE
	CARDIOVASCULAIRE		PATHOLOGIQUES
FURBER Alain	CARDIOLOGIE	ROUSSEAU Pascal	CHIRURGIE PLASTIQUE,
GAGNADOUX Frédéric	PNEUMOLOGIE		RECONSTRUCTRICE ET
GOHIER Bénédicte	PSYCHIATRIE D'ADULTES		ESTHETIQUE
GUARDIOLA Philippe	HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION	ROUSSELET Marie-	ANATOMIE ET CYTOLOGIE
GUILET David	CHIMIE ANALYTIQUE	Christine	PATHOLOGIQUES
HUNAULT-BERGER	HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION	ROY Pierre-Marie	MEDECINE D'URGENCE
Mathilde		SAULNIER Patrick	BIOPHYSIQUE ET
JEANNIN Pascale	IMMUNOLOGIE		BIOSTATISTIQUES
JUDALET-ILLAND	MEDECINE GENERALE	SERAPHIN Denis	CHIMIE ORGANIQUE
Ghislaine		SCHMIDT Aline	HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION
KAZOUR François	PSYCHIATRIE	SCHMITT Françoise	CHIRURGIE INFANTILE

TESSIER-CAZENEUVE
Christine
TRZEPISUR Wojciech
UGO Valérie
URBAN Thierry
VAN BOGAERT Patrick

MEDECINE GENERALE
PNEUMOLOGIE
HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION
PNEUMOLOGIE
PEDIATRIE

VENARA Aurélien
VENIER-JULIENNE Marie-
Claire
VERNY Christophe
WILLOTEAUX Serge

CHIRURGIE VISCERALE ET
DIGESTIVE
PHARMACOTECHNIE
NEUROLOGIE
RADIOLOGIE ET IMAGERIE
MEDICALE

MAÎTRES DE CONFERENCES

AMMI Myriam

BAGLIN Isabelle
BASTIAT Guillaume

BEAUVILLAIN Céline
BEGUE Cyril
BELIZNA Cristina
BENALLEGUE Nail
BERNARD Florian
BESSAGUET Flavien

BLANCHET Odile
BOISARD Séverine
BOUCHER Sophie
BRILLAND Benoit
BRIS Céline

BRUGUIERE Antoine
CAPITAIN Olivier

CHABRUN Floris

CHAO DE LA BARCA
Juan-Manuel
CHOPIN Matthieu
CORVAISIER Mathieu
DEMAS Josselin

DESHAYES Caroline
FADEL Marc

FERRE Marc
FORTRAT Jacques-Olivier
GHALI Maria
GUELFJ Jessica
HADJ MAHMOUD Dorra
HAMEL Jean-François

HAMON Cédric
HELESBEUX Jean-
Jacques
HERIVAUX Anaïs
HERSANT Jeanne

CHIRURGIE VASCULAIRE ET
THORACIQUE
CHIMIE THERAPEUTIQUE
BIOPHYSIQUE ET
BIOSTATISTIQUES
IMMUNOLOGIE
MEDECINE GENERALE
MEDECINE INTERNE
PEDIATRIE
ANATOMIE
PHYSIOLOGIE
PHARMACOLOGIE
HEMATOLOGIE ; TRANSFUSION
CHIMIE ANALYTIQUE
ORL
NEPHROLOGIE
BIOCHIMIE ET BIOLOGIE
MOLECULAIRE
PHARMACOGNOSIE
CANCEROLOGIE ;
RADIOTHERAPIE
BIOCHIMIE ET BIOLOGIE
MOLECULAIRE
BIOCHIMIE ET BIOLOGIE
MOLECULAIRE
MEDECINE GENERALE
PHARMACIE CLINIQUE
SCIENCES DE LA
READAPTATION
BACTERIOLOGIE VIROLOGIE
MEDECINE ET SANTE AU
TRAVAIL
BIOLOGIE MOLECULAIRE
PHYSIOLOGIE
MEDECINE GENERALE
MEDECINE GENERALE
IMMUNOLOGIE
BIOSTATISTIQUES,
INFORMATIQUE MEDICALE
MEDECINE GENERALE
CHIMIE ORGANIQUE

BIOTECHNOLOGIE
MEDECINE VASCULAIRE

HINDRE François
JOUSSET-THULLIER
Nathalie
JUSTEAU Grégoire
KHIATI Salim

LEFEUVRE Caroline
LEGEAY Samuel
LEPELTIER Elise
LE ROUX Gaël
LETOURNEL Franck
MABILLEAU Guillaume

MALLET Sabine
MAROT Agnès

MIOT Charline
MOUILLIE Jean-Marc
NAIL BILLAUD Sandrine
PAILHORIES Hélène
PAPON Xavier
PASCO-PAPON Anne

PENCHAUD Anne-
Laurence
PEUROIS Matthieu
PIHET Marc

PIRAUX Arthur
POIROUX Laurent
RONY Louis

ROGER Emilie
SAVARY Camille

SCHINKOWITZ Andréas
SPIESSER-ROBELET
Laurence
SUTEAU Valentine

TEXIER-LEGENDRE
Gaëlle
VIAULT Guillaume

BIOPHYSIQUE
MEDECINE LEGALE ET DROIT
DE LA SANTE
PNEUMOLOGIE
BIOCHIMIE ET BIOLOGIE
MOLECULAIRE
BACTERIOLOGIE ; VIROLOGIE
PHARMACOCINETIQUE
CHIMIE GENERALE
TOXICOLOGIE
BIOLOGIE CELLULAIRE
HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE ET
CYTOGENETIQUE
CHIMIE ANALYTIQUE
PARASITOLOGIE ET
MYCOLOGIE MEDICALE
IMMUNOLOGIE
PHILOSOPHIE
IMMUNOLOGIE
BACTERIOLOGIE-VIROLOGIE
ANATOMIE
RADIOLOGIE ET IMAGERIE
MEDICALE
SOCIOLOGIE

MEDECINE GENERALE
PARASITOLOGIE ET
MYCOLOGIE
OFFICINE
SCIENCES INFIRMIERES
CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET
TRAUMATOLOGIQUE
PHARMACOTECHNIE
PHARMACOLOGIE-
TOXICOLOGIE
PHARMACOGNOSIE
PHARMACIE CLINIQUE ET
EDUCATION THERAPEUTIQUE
ENDOCRINOLOGIE ; DIABETE
ET MALADIES METABOLIQUES
MEDECINE GENERALE

CHIMIE ORGANIQUE

AUTRES ENSEIGNANTS

ATER
BARAKAT Fatima
ATCHADE Constantin
ECER
HASAN Mahmoud
PRCE
AUTRET Erwan
BARBEROUSSE Michel
COYNE Ashley
O'SULLIVAN Kayleigh
RIVEAU Hélène
PAST-MAST
AUBRUHET Hélène

BEAUVAIS Vincent
BRAUD Cathie

CAVAILLON Pascal
CHAMPAGNE Romain

CHIMIE ANALYTIQUE
GALENIQUE

GALENIQUE

ANGLAIS
INFORMATIQUE
ANGLAIS
ANGLAIS
ANGLAIS

PHARMACIE DEUST
PREPARATEUR
OFFICINE
PHARMACIE DEUST
PREPARATEUR
PHARMACIE INDUSTRIELLE
MEDECINE PHYSIQUE ET
READAPTATION

DILÉ Nathalie
GUITTON Christophe

KAASSIS Mehdi
LAVIGNE Christian
LE FLOCH Maxime
MARSAN-POIROUX
Sylvie
MOAL Frédéric
PEREZ-GRANDIERE
Lucia
PICCOLI Giorgia
POMMIER Pascal

SAVARY Dominique
TORREGGIANI Massimo
PLP
CHIKH Yamina
AHU
ROBIN Julien

OFFICINE
MEDECINE INTENSIVE-
REANIMATION
GASTRO-ENTEROLOGIE
MEDECINE INTERNE
GERIATRIE
COMMUNICATION

PHARMACIE CLINIQUE
MALADIES INFECTIEUSES

NEPHROLOGIE
CANCEROLOGIE-
RADIOTHERAPIE
MEDECINE D'URGENCE
NEPHROLOGIE

ECONOMIE-GESTION

DISPOSITIFS MEDICAUX

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier les membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail et de consacrer du temps à sa lecture.

Je remercie également mon directeur de thèse, le Dr Romain Champagne qui m'a accompagnée et m'a guidée tout au long de ce projet.

J'adresse également mes remerciements à Mme Odile McKeeney, fondatrice et directrice de l'entreprise H'Ability, ainsi qu'au kinésithérapeute d'une équipe de football professionnelle pour avoir accepté de me recevoir en entretien. Vos expertises et vos connaissances du terrain ont apporté de la profondeur et de la pertinence à mon travail.

Je souhaite aussi remercier l'ensemble des médecins et professionnels de santé qui m'ont accompagnée et formée pendant mon internat. Une pensée particulière à ceux qui m'ont encadrée et encouragée durant mes stages en médecine du sport, confirmant mon attrait pour cette spécialité.

À mes co-internes, en cardiologie, pédiatrie, urgences et tous les autres... Merci d'avoir été là pour partager des bons comme des mauvais moments et se serrer les coudes. Merci de ce que vous m'avez apporté et continuez à m'apporter. Merci particulièrement à mes deux acolytes de plaintes qui m'ont accompagnée pendant ces 4 ans.

À ma famille, mes parents, Claire et Samuel. Ces études ont dû vous paraître bien longues, à moi aussi, rassurez-vous. Merci de m'avoir toujours soutenue, acceptée comme je suis et parfois portée à bout de bras. Merci pour les rires à n'en plus finir et de m'avoir fait prendre un peu l'air.

À mes grands-mères, je vous avais dit que je vous prescrirai du Doliprane un jour.

À Papou.

À ma deuxième famille, Claudia, Camille, Caroline, Manon, mes amis du lycée, mes amis des écuries. Ça y est j'ai enfin fini ! Merci de m'avoir écoutée me plaindre sans fin, merci d'apporter tant de joie dans ma vie, j'espère pouvoir vous le rendre un jour.

À Romain, enfin. Merci pour ta patience et ton soutien indéfectible. Merci de m'avoir montré ce que c'était que l'amour sain, merci pour tout ce que tu m'apportes, tout ce qu'on a partagé et tout ce qu'on partagera encore.

Liste des abréviations

AVC	Accident vasculaire cérébral
CAIT	Cumberland Ankle Instability Tool
CHL	Centre Hospitalier de Laval
INSEP	Institut Nationale du Sport, de l'Expertise et de la Performance
LTAFA	Ligament talo-fibulaire antérieur
RTP	Return to play / retour au jeu
RTR	Return to run / reprise de la course à pied
RTS	Return to sport / Reprise d'une activité physique
SEBT	Single Exclusion Balance Test
VR	Virtual reality

Plan

LISTE DES ABREVIATIONS

RESUME

INTRODUCTION

- 1. L'entorse de cheville**
 - 1.1. Anatomie
 - 1.2. Physiopathologie
- 2. La réalité virtuelle**
- 3. Justification de la recherche**

MÉTHODES

- 1. Objectifs de la recherche et critères d'évaluation**
 - 1.1. Objectif principal et critères d'évaluation
 - 1.2. Objectifs et critères de jugement secondaires
- 2. Conception de la recherche**
- 3. Sélection des personnes de la recherche**
 - 3.1. Critères d'inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche
 - 3.2. Critères de non-inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche
- 4. Stratégie et procédure de l'étude**
 - 4.1. Note contextuelle
 - a. Groupe rééducation standard
 - b. Groupe réalité virtuelle
 - 4.2. Intervention dans l'étude
 - 4.3. Procédure de comparaison
- 5. Déroulement de la recherche**
 - 5.1. Recrutement
 - 5.2. Procédure d'inclusion
 - 5.3. Suivi des personnes se prêtant à la recherche
 - 5.4. Arrêt de participation d'une personne à la recherche
 - 5.5. Durée de la recherche
- 6. Analyse statistique**

RÉSULTATS

DISCUSSION ET CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLE DES MATIERES

ANNEXES

RESUME

Introduction

L'entorse de cheville représente le traumatisme musculosquelettique le plus fréquent en France avec une incidence d'environ 6000 cas/jour.

Aujourd'hui, la prise en charge de l'entorse de cheville est majoritairement fonctionnelle ou orthopédique. La kinésithérapie entre précocement dans la prise en charge et permet un retour au sport en moyenne en 4 à 6 semaines avec une rééducation adaptée. En dehors de la lésion anatomique, il a été démontré que ce traumatisme entraîne également des modifications des schémas cérébraux et proprioceptifs.

La réalité virtuelle immersive est un outil innovant qui a déjà été utilisée dans la prise en charge des douleurs chroniques, la rééducation des troubles musculosquelettiques comme la lombalgie ou en post-opératoire. Son utilisation favoriserait également l'engagement par son aspect ludique et distrayant.

Les études se multiplient actuellement sur le sujet de l'usage de la réalité virtuelle. Il est toutefois délicat de les comparer du fait des populations étudiées très variables, ainsi que des protocoles rééducatifs hétérogènes ou parfois non détaillés.

Sujets et Méthodes

Il s'agit d'un protocole de recherche portant sur l'intérêt de l'usage de la réalité virtuelle dans la prise en charge des entorses du plan latéral de cheville chez les athlètes professionnels et semi-professionnels.

L'objectif de ce protocole est d'évaluer l'effet de l'intégration de la réalité virtuelle immersive par le système H'Ability, en complément d'un protocole de rééducation standard. Le protocole portera sur l'évaluation de l'amélioration de la fonction de la cheville dans les suites d'une entorse, notamment sur la part proprioceptive. Cela se fera par l'intermédiaire des tests SEBT puis du test Ankle-GO en fin de rééducation. Ces tests seront réalisés lors de la première, la quatrième et la huitième semaine de rééducation. L'objectif est de recruter 28 sujets parmi la population d'athlètes professionnels et semi-professionnels du Maine-et-Loire et de la Mayenne, répartis en deux groupes de 14 sujets. Un groupe étant le groupe kinésithérapie standard (groupe contrôle correspondant à la prise en charge courante) et l'autre groupe étant le groupe kinésithérapie couplée à la réalité virtuelle.

Une différence entre les 2 groupes sera recherchée grâce à un test de Student à la fin de la rééducation, mettant en lumière la supériorité ou non d'un traitement par rapport à un autre.

Une étude de variance sera également réalisée afin de chercher une amélioration, plus rapide ou non, des paramètres de progression mesurés lors de la rééducation.

Résultats attendus :

Parmi les études déjà réalisées dans l'usage de la réalité virtuelle dans la rééducation des troubles musculosquelettiques, il a régulièrement été mis en évidence une meilleure fonction articulaire mais également une meilleure adhérence du patient au protocole de rééducation par l'aspect ludique de cette technologie. Ce dernier paramètre sera peut-être toutefois à nuancer chez des sportifs dont c'est le métier et qui seront donc forcément plus impliqués dès le départ. Il a également été mis en évidence une diminution des douleurs grâce à l'utilisation de la VR ce qui pourra être retrouvé ici.

Il est également attendu ici une amélioration de la symptomatologie douloureuse, de la confiance dans l'articulation, une baisse de la sensation d'instabilité et une progression plus rapide dans le groupe avec la réalité virtuelle par rapport au groupe rééducation standard.

Conclusion :

L'usage de la réalité virtuelle dans le domaine médical est en plein essor. Le corolaire de ce protocole est d'essayer de mettre en évidence un avantage de l'usage de la réalité virtuelle dans la rééducation des entorses de chevilles par rapport à une rééducation standard. L'objectif est également de tenter de détailler au mieux le protocole utilisé, afin de tendre vers une rééducation plus standardisée ou, au moins, plus détaillée avec la réalité virtuelle, si elle s'avérait efficace.

INTRODUCTION

1. L'entorse de la cheville

L'entorse de la cheville représente le traumatisme musculosquelettique le plus fréquent en France, avec une incidence estimée à environ 6000 cas par jour, soit 1 cas pour 12 000 habitants. On estime que 70% de la population générale a déjà subi un traumatisme de la cheville au cours de sa vie et que cette lésion représente 25% de l'ensemble des traumatismes du sportif. Les sports les plus à risque sont le basket-ball, le volley-ball, le hand-ball et le football(1,2).

1.1. Anatomie

La cheville est une articulation charnière située au carrefour de 2 axes. Cette situation pivot l'expose à différentes contraintes : en compression pour sa fonction de maintien de la stabilité de l'arrière-pied et en rotation par le médio et l'avant-pied. Elle est composée des articulations : tibiotalienne, talofibulaire, tibiofibulaire inférieure et sous-talienne. Les éléments tendino-capsulo-ligamentaires jouent également un rôle important en facilitant en permanence une bonne coaptation et coordination entre les différentes structures osseuses (1,3). Ainsi :

- Le plan latéral de la cheville est composé de 3 faisceaux dont l'insertion proximale est fibulaire. Le ligament talo-fibulaire antérieur (LTFA) s'étend du bord antérieur de la malléole latérale jusqu'au col du talus. Le ligament calcanéo-fibulaire s'étend de la pointe de la malléole latérale, en bas et en arrière vers le calcaneus. Le ligament talo-fibulaire postérieur s'étend de la pointe de la malléole latérale à la partie postérieure non articulaire du talus.
- Le plan médial est composé du ligament collatéral médial. Son plan superficiel s'étend de l'os naviculaire au sustentaculum tali et son plan profond est tibiotalien.
- L'articulation talo-calcanéenne est peu mobile, se déplaçant dans les 3 plans de l'espace. Sa stabilité est essentiellement ligamentaire.
- L'articulation tibio-fibulaire inférieure est une syndesmose sans surface cartilagineuse mettant en contact le tibia et la fibula et permettant la

constitution d'une pince bi-malléolaire semi-rigide. La congruence est assurée par un ensemble ligamentaire constitué du ligament tibio-fibulaire antéro-inférieur, de la membrane inter-osseuse et du ligament tibio-fibulaire postérieur.

1.2. Physiopathologie

La majorité des activités sportives s'effectuent en charge, ce qui expose la cheville à un risque traumatique élevé (1).

L'entorse est un traumatisme caractérisé par l'étirement et la lésion, pouvant aller jusqu'à la rupture, d'un ou plusieurs ligaments dont la capacité a été dépassée.

L'entorse de cheville, du fait de sa grande fréquence, a un retentissement économique non négligeable. En France, le coût journalier de cette prise en charge est estimé à 1,2 millions d'euros et représente un absentéisme scolaire ou professionnel de l'ordre de 7 jours en moyenne (4).

Les mécanismes lésionnels sont liés à un dépassement de la charge physiologique de la cheville. On retrouve principalement :

- Le traumatisme unique, soit par choc direct ou par choc indirect sollicitant l'articulation dans ses amplitudes extrêmes.
- Le microtraumatisme répété, où la répétition d'un même geste entraîne une souffrance des structures impliquées.

Les mécanismes lésionnels peuvent être multiples : en varus, en valgus, en rotation, en flexion, avec une association possible entre eux et éventuellement associés avec un choc direct. Des lésions mixtes entre l'avant-pied et la cheville existent mais sont plus rares.

Parmi ces types de traumatismes de la cheville, par mouvement forcé, on distingue principalement :

- Traumatisme en inversion : contrainte en adduction et rotation interne, associée à une flexion plantaire. Généralement à l'origine de lésions du ligament collatéral latéral.
- Traumatisme en éversion : contrainte en abduction et rotation externe.
- Entorse antérieure : mécanisme de flexion plantaire forcée, type shoot du

footballeur dans le sol.

L'entorse latérale de la cheville est le type d'entorse le plus fréquent, en représentant 85% des entorses aiguës de la cheville (5). Le ligament talo-fibulaire antérieur est la structure la plus touchée. Il est atteint dans 70 à 85% des cas et est touché de façon isolée dans 40% des cas (6).

La prise en charge initiale de l'entorse passe par un examen clinique minutieux des structures osseuses, ligamentaires, tendineuses de la région touchée et des structures sus et sous-jacentes. L'examen peut également être répété à distance en cas d'œdème et de douleur trop importants lors du premier examen. Les radiographies ne sont pas réalisées de façon systématique devant une entorse de la cheville. Elles sont prescrites en fonction des critères d'Ottawa qui déterminent la probabilité d'une fracture de cette zone. Il est à noter que le critère d'âge ne rentre plus en compte dans les critères d'Ottawa car ils ont été validés en population pédiatrique (7). L'échographie est également un examen intéressant à réaliser, par un opérateur expérimenté, pour mettre en évidence l'atteinte d'une structure particulière, mais elle n'est pas nécessaire de façon systématique. Elle permet de faire un bilan lésionnel complet des structures tendineuses et ligamentaires. La présence d'un épanchement intra-articulaire tibio-talien signe une lésion ligamentaire quasi-certaine (8).

Incapacité à supporter le poids lors de 4 pas (2 fois 2 pas sur chaque membre), immédiatement après la blessure et lors de la consultation, à cause de la douleur ressentie dans la région pied/cheville	
Douleur ressentie lors de la palpation par le clinicien	De la pointe malléolaire et des 6 centimètres distaux du bord postérieur de la malléole médiale
	De la pointe malléolaire et des 6 centimètres distaux du bord postérieur de la malléole latérale
	Au niveau de la base du 5e métatarsien
	Sur l'os naviculaire

Tableau I : Critères d'Ottawa selon l'HAS (9), afin d'exclure la probabilité de présenter une fracture de la cheville.

Une fois le diagnostic posé, le protocole PEACE & LOVE est mis en place à la phase aiguë. Il comprend notamment l'arrêt des activités provoquant la douleur dans les premiers jours, la surélévation, la compression et la remise en charge progressive et l'entretien cardio-vasculaire (10).



Figure 1 : Protocole PEACE & LOVE utilisé dans la prise en charge des entorses.

Aujourd'hui, la majorité des entorses fait l'objet d'une prise en charge fonctionnelle ou orthopédique. Le traitement fonctionnel avec immobilisation par attelle simple et rééducation rapide est privilégié actuellement car il permettrait un retour sur le terrain plus rapide que le traitement orthopédique (11). Toutefois, certains auteurs évoquent une immobilisation rigide dans les entorses graves permettant une réduction de l'œdème, des douleurs et un meilleur résultat fonctionnel. Le choix n'est pas toujours clair entre un traitement fonctionnel et un traitement orthopédique. Une approche combinant initialement une immobilisation rigide de courte durée relayée vers une immobilisation plus souple semble être un bon compromis selon la gravité des lésions (12). La kinésithérapie entre précocement dans la prise en charge et permet dans un

premier temps un drainage de l'œdème, une diminution de la douleur et un gain d'amplitudes articulaires, notamment sur la flexion dorsale. Il est ensuite effectué une rééducation neuromusculaire et proprioceptive pour permettre un retour à la vie quotidienne et à l'activité sportive en sécurité (13).

Dans la majorité des cas d'entorses latérales de cheville de grade I ou II, un retour au sport est observé entre 4 et 6 semaines, à condition qu'une rééducation précoce, progressive et adaptée soit instaurée (14,15).

Il a été démontré dans les recherches récentes, qu'en dehors de la lésion anatomique, que les entorses de chevilles avaient un impact sur le long terme et entraînaient des déficits proprioceptifs, voir des modifications de schémas cérébraux et donc des modifications du contrôle périphérique. Ainsi, le mécanisme d'entorse provoque une lésion directe des mécanorécepteurs ligamentaires, entraînant une diminution de leur densité et de leur sensibilité dans les suites du traumatisme. Ces récepteurs sont responsables de la détection de modifications de pression ou de position de l'articulation et il a été démontré de leur moins bonne efficacité dans les suites de l'entorse (16).

Sur des modèles animaux (souris), il a été mis en évidence que des lésions ligamentaires entraînaient une désafférentation sensorielle, et que chez l'homme, ces modifications menaient à une réorganisation somatosensorielle au niveau du cortex pariétal postérieur et des gyrus pré et post-centraux (17,18). La perte du signal proprioceptif due à la lésion crée un retard de transmission allant de 15 à 20ms, suffisant pour nuire aux mécanismes anticipateurs de correction de posture (16). Ce retard se traduit par une augmentation du temps de réaction musculaire lors des tests de déséquilibre contrôlé, pouvant aller jusqu'à 40% (18).

Parmi les modifications au niveau central, on retrouve une restructuration des réseaux sensorimoteurs et une atrophie par zone de la substance grise, notamment du vermis et des noyaux amygdaliens, pouvant expliquer en partie l'apparition d'instabilité chronique et le risque important de récurrence (17,19).

Face à ces modifications, le système nerveux central met en place des mécanismes de compensation par le biais principalement du cervelet et du cortex prémoteur (17,18). L'imagerie par IRM fonctionnelle met en évidence une

hyperactivation du lobe pariétal inférieur controlatéral sur les exercices d'équilibre unipodal chez les patients présentant une instabilité chronique de la cheville. Cette activation s'accompagne à l'inverse d'une atrophie de la substance grise en regard du vermis cérébelleux, région d'intégration de l'information proprioceptive. On assiste donc à une réorganisation des réseaux sensorimoteurs, visant à compenser la moins bonne qualité des messages périphériques (18,19).

Devant ces nombreuses modifications centrales et périphériques, de nouveaux types de rééducation émergent actuellement, avec notamment l'inclusion dans les protocoles de nouvelles technologies et notamment de la réalité virtuelle. Le but étant de prendre en charge à la fois la périphérie avec la lésion ligamentaire et l'impact du traumatisme sur le système nerveux central.

2. La réalité virtuelle

La réalité virtuelle désigne les dispositifs permettant de simuler un environnement. Il existe différents types de technologies permettant à son utilisateur de faire l'expérience d'un environnement virtuel grâce à ses différents sens, et principalement la vue. Elle permet donc à une personne d'effectuer une activité motrice dans un espace artificiel.

Elle est à distinguer de la réalité augmentée qui offre une superposition d'éléments virtuels sur un champ de vision réel. C'est l'exemple des lunettes de réalité augmentée.

Depuis ses premiers pas dans les laboratoires de recherches, cette technologie immersive a suscité un intérêt croissant dans de très nombreux domaines (20).

Lorsque l'on évoque la réalité virtuelle, on pense immédiatement aux casques, également appelés Head Mounted Display (HMD), qui se démocratisent de plus en plus et dans des secteurs très variés. En effet, ces dispositifs sont présents dans les jeux vidéo, l'évènementiel et évidemment, la santé.

Toutefois, avant d'arriver aux dispositifs que nous connaissons actuellement, il faut remonter aux années 50 avec la création de la première machine de réalité virtuelle, appelée « Sensorama », créée par Morton Heilling. Créée en 1956,

cette machine permettait une immersion en faisant appel à la vue, au toucher, à l'ouïe ou à l'odorat.

C'est ensuite dans les années 1980 et 1990 que cette technologie prend un véritable essor avec l'apparition des casques que l'on connaît actuellement, avec notamment le casque Sega ou le système Virtuality. Ces premiers modèles, qui peuvent sembler bien rudimentaires aujourd'hui, ont été les précurseurs des avancées majeures que l'on connaît à ce jour. La NASA donne la première impulsion dans le développement des casques de réalité virtuelle, puis c'est en 2009 que le casque Oculus Rift, créé par Palmer Luckey, voit le jour et est commercialisé encore à ce jour (21,22).

L'intégration de la réalité virtuelle dans le domaine médical a été facilitée par des progrès technologiques significatifs : amélioration des graphismes, capteurs de mouvements, etc... Aujourd'hui, cette technologie est utilisée dans de nombreux domaines de la santé, allant de la formation des professionnels à la planification chirurgicale ou à la réadaptation à la prise en charge des patients.

Les premières applications médicales apparaissent entre 1990 et 2000 et se concentrent essentiellement sur de la simulation chirurgicale et sur la formation des professionnels dans un environnement virtuel sûr. Elles se développent ensuite dans les années 2000 avec des applications dans la rééducation, la physiothérapie, la gestion de la douleur et du stress. Enfin, dans les années 2010 à 2020, elles trouvent une plus grande place dans les hôpitaux, notamment dans les rééducations post-AVC ou la gestion de la douleur chronique (20).

Différentes formes de réalité virtuelle sont utilisées dans le domaine médical. Celle que nous allons utiliser au cours de cette étude est la réalité virtuelle immersive. C'est la forme la plus complète et la plus engageante de réalité virtuelle. Son utilisateur est plongé dans un environnement où de nombreux sens sont sollicités, en créant une expérience réaliste et interactive. Les écrans placés devant chaque œil permettent de créer une sensation de profondeur. On retrouve des capteurs de mouvements, permettant le suivi de ces derniers et le son est spatialisé, provenant de différentes directions pour renforcer l'immersion. C'est le cas avec les casques comme le casque H'Ability® ou Oculus Rift®. La réalité virtuelle semi-immersive permet une immersion partielle grâce

à des écrans plus larges et des systèmes de projection sur les murs et/ou le sol. Elle présente moins d'interactions physiques que la réalité immersive, souvent limitée à des mouvements de la tête ou l'utilisation de contrôleurs. Enfin, la réalité virtuelle non immersive se caractérise par l'utilisation d'un écran pour afficher un contenu virtuel, sans isoler le patient de son environnement. L'interface est souvent plus traditionnelle, avec des claviers ou des manettes pour interagir avec cet environnement (23).

D'après une étude de 2017, la réalité virtuelle est très utilisée dans le cadre de la rééducation post-AVC (25,8%), les traumatismes crâniens (15,3%), la paralysie cérébrale (10,5%) puis les troubles du neurodéveloppement (6,3%) (24).

Dans le domaine particulier de la rééducation des troubles musculosquelettiques, la réalité virtuelle offre des possibilités nouvelles de prises en charge pour améliorer la rééducation et la récupération des patients.

Elle semble également avoir un impact sur l'engagement, la motivation et offre la possibilité de personnalisation des exercices en fonction des besoins spécifiques de chaque patient, tout en permettant un retour d'information en temps réel sur les performances et l'évolution.

De plus, il a été montré à plusieurs reprises l'impact de son utilisation sur les modifications neurophysiologiques liées à l'entorse de la cheville, même dès la phase aiguë, pouvant expliquer la supériorité de certains protocoles de rééducation immersifs par rapport aux rééducations conventionnelles (25).

Le casque de réalité virtuelle crée un environnement multisensoriel par le biais d'informations visuelles, vestibulaires et proprioceptives. Cette stimulation multiple rend possible une réorganisation somatosensorielle rapide au niveau du cortex pariétal postérieur (ou gyrus post-central), permettant de compenser en partie la désafférentation liée à la lésion ligamentaire (25). La réalité virtuelle met aussi en évidence, par le biais de messages erronés entre l'information visuelle donnée et le retour d'informations proprioceptives, la neuroplasticité cérébrale induite après quelques minutes de réalité virtuelle (26). Cette activation préviendrait l'installation de schémas moteurs pathologiques souvent

retrouvés dans les instabilités chroniques.

La réalité virtuelle permet d'optimiser la rééducation proprioceptive en créant des environnements virtuels dont la difficulté des défis proprioceptifs est croissante. Elle permet de générer des scénarios complexes, facilitant la réorganisation des représentations corticales de la cheville, avec par exemple de la marche dans un environnement perturbé, des exercices de saut avec un feedback immédiat et des exercices de rééducation posturale. En comparant une rééducation standard à une rééducation en utilisant la réalité virtuelle, il a été montré une réduction du temps de stabilisation posturale et notamment en unipodal (27).

3. Justification de la recherche

Plusieurs éléments peuvent justifier de s'intéresser à la rééducation de la cheville.

Tout d'abord, c'est l'articulation subissant le plus de traumatismes comparativement aux autres articulations. Elle est cependant exposée à une banalisation de son traumatisme. Son taux de rechute est pourtant le plus élevé de toutes les blessures musculosquelettiques des membres inférieurs. Le risque de nouvelle blessure est trois fois et demi plus élevé chez les personnes ayant présenté une entorse de cheville dans l'année (28). En 2013, Guillodo et al ont mis en évidence que seulement 50% des patients avaient complètement récupéré à 1 an, 37% restaient douloureux, 48% présentaient une instabilité de cheville et 8,9% étaient victimes de récives (29).

La cheville chronique est souvent liée à une prise en charge négligée. Elle est caractérisée par une instabilité chronique, souvent liée à des déficits proprioceptifs et neuromusculaires, menant à une baisse de la performance et une augmentation du risque de nouvelle blessure (30).

De plus, contrairement au genou ou à la hanche où les prothèses sont largement implantées et bénéficient d'un fort consensus en termes de résultats et de recommandations, la prothèse de cheville reste une intervention peu développée. La prise en charge chirurgicale avec prothèse de cheville reste donc

exceptionnelle et l'arthrodèse de cheville, dont le pronostic fonctionnel post-chirurgical reste réservé, renforcent l'importance de protocoles de rééducation efficaces des entorses aiguës, afin de limiter le risque de chronicisation (31).

Ensuite, la rééducation conventionnelle, bien qu'ayant largement fait ses preuves, présente des limites, notamment en termes d'adhérence des patients. La nature répétitive et contraignante des exercices peut limiter l'engagement. En effet, malgré l'efficacité prouvée de la rééducation conventionnelle tant en rééducation musculosquelettique que pour d'autres indications, l'adhérence des patients est régulièrement en dessous de 35% (32).

De plus, les approches en cabinet ne reproduisent pas parfaitement les conditions sur le terrain ou le type de geste sportif pratiqué et limitent l'application des acquis en rééducation vers la pratique sportive réelle. La rééducation du sportif doit prendre en compte la réalisation du geste, l'intensité du geste et la gestion de l'incertitude au cours de la pratique. (33)

L'idée est donc d'essayer d'intégrer la réalité virtuelle dans la prise en charge des entorses aiguës, afin de limiter la chronicisation.

La réalité virtuelle est une technologie innovante émergeant en rééducation, permettant de proposer des environnements immersifs et interactifs et favorisant l'engagement du patient. Certaines études ont montré que la VR induisait des changements significatifs dans la perception corporelle et spatiale, témoignant de la plasticité du cerveau en contexte de situations simulées. Son utilisation a été associée à une augmentation des performances cognitives.

Actuellement, dans la littérature, les études portant sur la réalité virtuelle se sont multipliées. Il reste toutefois délicat de pouvoir les comparer. En effet, on retrouve des essais cliniques randomisés comparant les programmes d'entraînement avec VR et en situation conventionnelle sur l'équilibre statique et dynamique, d'autres sur l'instabilité ressentie ou sur la performance chez les athlètes atteints d'instabilité chronique. D'autres articles encore ont étudié la neuroplasticité, la proprioception et les temps de réaction (19). Enfin, on retrouve plusieurs méta-analyses regroupant de nombreuses études mais comparant des essais avec des protocoles différents.

Malgré ces différences de protocoles, il a été mis en évidence des résultats convergents sur l'amélioration de l'équilibre dynamique via le Star Excursion Balance Test, la réduction de la sensation d'instabilité avec le Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT), un meilleur engagement des patients et une stimulation favorisant la neuroplasticité.

Outre les protocoles, les interfaces utilisées sont également variées. On retrouve le classique casque de réalité virtuelle, immersif, tel qu'Oculus Rift et les consoles de jeux vidéo comme la Wii Balance Board ou Xbox Kinect qui sont parfois plus faciles d'accès et/ou d'utilisation. Ces dernières représentent des solutions de réalité virtuelle non immersive. On peut retrouver dans certains essais, l'utilisation d'applications commerciales proposant des jeux d'équilibre ou des jeux proprioceptifs.

Les mêmes limitations sont régulièrement retrouvées au fil des études. En effet, la plupart présentent des échantillons de patients faibles, souvent inférieurs à 30 patients, empêchant de généraliser les résultats et diminuant la puissance de l'étude (25,34). La durée des protocoles est aussi courte, entre 4 et 8 semaines le plus souvent, sans suivi sur le long terme (34,35). Les protocoles sont très variables, autant en termes de type d'exercice, que de durée ou de fréquence, rendant ainsi la comparaison délicate (34,36). Les populations sont, elles aussi, variables avec quelques études réalisées chez des athlètes, la plupart étant faites chez des personnes âgées, des patients douloureux chroniques ou des sportifs loisirs et amateurs (35,36). Il manque également régulièrement de mesures objectives avec des paramètres mesurables et reproductibles (25,34).

Devant tous ces éléments, l'objectif de ce travail est de tenter de combler certaines lacunes présentes dans la littérature actuelles.

Ici, le souhait est de se concentrer sur des populations de sportifs professionnels ou semi-professionnels, groupe étant très concerné par ce type de pathologie et dont le retour au sport dans de bonnes conditions est primordial et se doit être efficace.

À terme, ce travail s'inscrit dans le souhait de développer des protocoles de

rééducation personnalisés en y intégrant de la technologie avec la réalité virtuelle dans la prise en charge post-entorse des athlètes et des sportifs.

Hypothèse de la recherche

L'hypothèse ici, est que dans un contexte d'entorse aiguë du plan latéral de la cheville, l'utilisation de la réalité virtuelle permettrait d'obtenir de meilleurs résultats de rééducation avec notamment une meilleure stabilité et fonction de l'articulation et un possible retour au sport plus rapide et de meilleure qualité.

L'objectif est de comparer l'effet immédiat des séances de rééducation avec et sans réalité virtuelle chez un sujet après une entorse aiguë du plan latéral de la cheville.

MÉTHODES

1. Objectifs de la recherche et critères d'évaluation

1.1. Objectif principal et critère d'évaluation

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet de l'intégration de la réalité virtuelle immersive, en complément d'un protocole de rééducation standard, sur l'amélioration de la fonction de la cheville dans les suites d'une entorse aiguë du plan latéral. L'hypothèse formulée est que l'utilisation de la réalité virtuelle permettrait d'optimiser la récupération fonctionnelle, en favorisant une amélioration plus rapide et significative de la proprioception et de la stabilité articulaire. Le critère de jugement principal repose sur l'évolution de la stabilité fonctionnelle, évaluée par le Star Excursion Balance Test (SEBT) en cours de rééducation, puis par les résultats au Ankle Go Test après huit semaines, en comparant un groupe bénéficiant de séances de réalité virtuelle en complément de la kinésithérapie, à un groupe témoin suivant une rééducation conventionnelle seule.

Le test SEBT (37) : Il s'agit d'un test fonctionnel issu d'un exercice de rééducation du membre inférieur, décrit initialement par G. Gray. Ce test est utilisé en pratique clinique pour mesurer la performance posturale dynamique du membre inférieur, évaluer le déficit des patients afin de planifier le retour au sport ou même repérer les sujets à risque de nouvelles blessures.

Initialement, le patient était placé debout, pieds nus, les mains sur les hanches, au centre d'une étoile à 8 branches avec 45° entre chaque direction. Ensuite, les travaux ont montré que ce test pouvait être simplifié en utilisant seulement 3 branches dans les directions antérieure, postéro-médiale et postéro-latérale. On l'appelle maintenant le SEBT modifié. L'objectif est d'atteindre la plus grande distance sur les 3 branches avec la pointe du pied en décharge, avant de revenir en position initiale. La valeur en centimètres ou annexée à la longueur du membre inférieur reflète la performance posturale dynamique du membre inférieur en charge, sans spécificité particulière du membre inférieur.

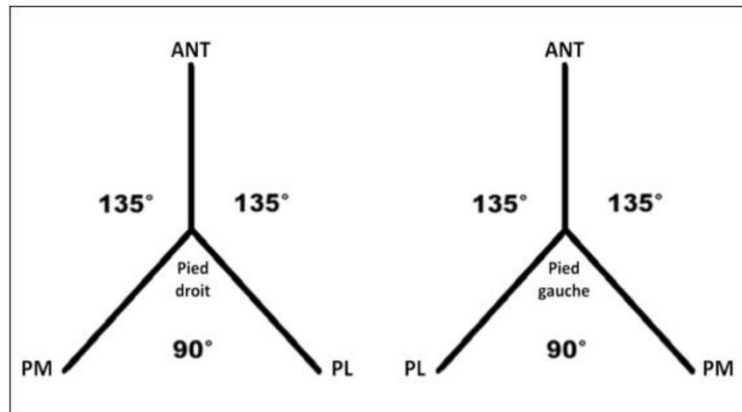


Figure 2 : Organisation en 3 branches du SEBT modifié pour le pied droit et gauche

Le test est expliqué par l'examineur. Le patient a droit à 4 essais dans chaque direction et pour chaque membre inférieur mais seulement 3 essais sont comptabilisés par direction. Chaque essai doit être stabilisé et le patient alterne entre chaque direction pour limiter le risque d'apparition de fatigue.

Les critères d'échec du test sont une chute, le fait que le pied libre touche le sol, le sujet transfère son poids du corps sur le pied libre, le pied d'appui se déplace, le talon ou toute autre partie du pied se décolle ou enfin lorsque les mains se décollent des hanches.

Les paramètres mesurés sont la moyenne des 3 essais pour chaque direction de chaque pied ainsi que le calcul du score composite. Les valeurs sont exprimées en pourcentage de la longueur du membre inférieur testé (de l'épine iliaque antérosupérieure jusqu'à la malléole médiale). La valeur du score composite en pourcentage reflète la performance posturale dynamique globale du membre inférieur. Les formules pour calculer la distance maximale moyenne et le score composite sont ci-dessous.

$$\text{Distance maximale atteinte normalisée} = \left(\frac{\text{Distance maximale atteinte}}{\text{Longueur du membre inférieur}} \right) \times 100$$

Figure 3 : Formule pour calculer la distance maximale atteinte normalisée sur la taille

$$CS = \left(\frac{(AN + PM + PL)}{3 \times (\text{Longueur du membre inférieur})} \right) \times 100$$

Figure 4 : Formule pour le calcul du score composite

Afin de repérer des sportifs présentant un risque plus élevé de blessure au niveau des membres inférieurs, les cut-off ne sont pas parfaitement défini (37), mais il a été établi qu'un score composite < 94% chez des joueuses de basket était associé à un risque de blessure 6,5 fois plus élevé. Chez les hommes, pour un score également < 94%, il était 3 fois plus élevé (38). De plus, une asymétrie supérieure à 4cm dans la direction antérieure entraîne un risque 2,5 fois plus important de blessure aux membres inférieurs. Il a aussi été mis en évidence dans une étude plus récente de Stiffler et al. qu'une différence > 4,5% dans la direction antérieure entre les deux membres inférieurs permettait d'identifier les joueurs plus à risque (39).

Concernant le SEBT au cours de la rééducation, la direction postéro-médiale apparaît comme la direction étant la plus pertinente pour mettre en évidence une différence significative. D'après la littérature, un seuil de 14% est considéré comme un seuil de changement cliniquement détectable (40). Les valeurs dans la direction postéro-médiale seront donc celles utilisées lors de l'analyse des données.

L'Ankle-Go-Test (41): ce test est composé de plusieurs tests. On retrouve d'abord un questionnaire à remplir, le ALR-RSI (cf. annexe) qui permet de quantifier l'état de préparation psychologique avant la reprise du sport après une reconstruction d'un ligament de la cheville. Le score peut aller de 0% (le plus faible état de préparation psychologique) à 100%. Il s'agit d'un outil valide, fiable et reproductible.

Ensuite, parmi les tests physiques qui le composent, on peut retrouver le SEBT, le single Leg Stance, le Side Hop Test et le Figure of 8. Le Single Leg Stance consiste à mettre le patient en appui unipodal, yeux fermés et il doit rester immobile et stable pendant 20 secondes, afin de tester la proprioception et la

stabilité en appui statique. Le Side Hop Test consiste à sauter de part et d'autre de deux lignes distantes de 30 cm pour 10 allers-retours, soit 20 sauts, sans mordre les lignes. Enfin, le Figure of 8 test est un test avec 2 plots distants de 5m où le patient doit effectuer 2 huit de chiffre autour des plot, à cloche-pied.

Le total de ces tests donne ensuite un score de 25 points. Le retour au sport est validé chez les patients ayant obtenu un score de 19,6 points dans le groupe contrôle de l'étude (41). Il est également souligné que les patients ayant un score de 8 ou moins ont peu de chance de retrouver le sport à leur niveau antérieur 2 mois plus tard.

Il est à noter par ailleurs que dans la littérature, une différence de 1,2 points sur l'Ankle-Go-Test est considéré comme cliniquement significative (41).

1.2. Objectifs et critères de jugements secondaires

Les critères de jugement secondaires sont constitués du temps de retour à l'entraînement, ainsi que d'une échelle analogique de la douleur (de 0 à 10) et d'une échelle de confiance en l'articulation (confiance notée sur 5) qui seront remplies à la fin de chaque séance de rééducation. Le score CAIT, concernant la sensation d'instabilité de la cheville sera également complété au cours de la rééducation. Le temps de retour au sport (RTS : return to sport) et de retour au jeu (RTP : return to play) sera comparé entre les 2 groupes.

Le score CAIT (42) : le Cumberland Ankle Instability Tool est un questionnaire évaluant l'instabilité d'une cheville sans avoir besoin de comparer avec la cheville controlatérale. Il permet également de grader la sévérité de l'instabilité. Il est composé de 9 questions auxquelles le patient doit répondre de façon autonome en évaluant la douleur à la cheville, l'instabilité subjective lors des activités sportives et la capacité de la cheville à faire face aux épisodes de torsion. Les réponses sont additionnées pour obtenir un score allant de 0 à 30 points. Plus le score est élevé, plus la stabilité de la cheville est considérée comme bonne, avec un cut-off à 23 points en deçà duquel cela témoigne d'une instabilité fonctionnelle de la cheville. Un changement minimal détectable est coté à 4 points (cf. annexe).

2. Conception de la recherche

Il s'agit d'une recherche impliquant la personne humaine de catégorie 2, testant une intervention non pharmacologique (par de la réalité virtuelle immersive), prospective et ouverte, de type essai contrôlé randomisé en groupes parallèles.

L'étude se déroulera sur 8 semaines, à raison de 2 séances par semaine, avec 3 séances fléchées en fin de semaine où des calculs de score seront effectués :

- S0 : Calcul du score SEBT (ainsi que le critère secondaire avec le score CAIT)
- S4 : Calcul du score SEBT (ainsi que le critère secondaire avec le score CAIT)
- S8 : Calcul du score Ankle-Go-Test (où le score SEBT est compris), (ainsi que le critère secondaire avec le score CAIT).

A noter que l'échelle analogique de la douleur et l'échelle de confiance dans l'articulation seront à remplir à chaque fin de séance de rééducation (cf annexe).

Le calcul du nombre de sujets nécessaires pour la réalisation de ce protocole est réalisé à partir du logiciel G Power en fixant un risque alpha à 5%, une puissance à 80%, avec une analyse de 2 groupes sur 3 mesures différentes dans le temps (S0, S4, S8). La taille d'effet (partial eta squared) η^2 est fixée à 0,06 pour obtenir une taille d'effet moyenne (43).

Il est donc retrouvé une taille d'échantillon de 28 sujets, soit 14 sujets par groupe, l'un étant le groupe rééducation standard et l'autre le groupe rééducation et réalité virtuelle.

L'essai sera réalisé en ouvert pour le patient et le rééducateur.

L'ordre des patients ainsi que l'attribution au groupe réalité virtuelle ou rééducation conventionnelle seront déterminés par une liste de randomisation réalisée par les investigateurs à l'aide d'un document Excel, patient par patient.

La randomisation est réalisée dans les suites de la visite d'inclusion, grâce au Case Report Form (CRF).

3. Sélection des personnes de la recherche

3.1. Critères d'inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche

- Traumatisme aigu du ligament collatéral latéral de la cheville datant de moins de 1 mois (les lésions de contre-coup ne sont pas un critère d'exclusion)
- Entorse aiguë de grade I ou II
- Sportifs professionnels ou semi-professionnels : nous avons sélectionné des équipes de sports collectifs de la région et dont nous avons les contacts avec les médecins d'équipe ou les kinésithérapeutes. Nous retrouvons l'équipe de football du stade Lavallois en Ligue 2, l'équipe de handball masculine de Nationale 1 HSM Château-Gontier et l'équipe de handball féminine de Nationale 2 CA Evronnais
- Âge entre 18 et 65 ans
- Maîtrise de la langue française
- Personne en capacité de supporter le dispositif de réalité virtuelle
- Patient ayant signé un consentement éclairé
- Patient affilié à un régime de sécurité sociale ou bénéficiaire d'une couverture équivalente

3.2. Critères de non-inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche

- Atteinte de l'articulation de Chopart et de Lisfranc, atteinte de la syndesmose tibio-fibulaire
- Fracture, luxation de la cheville
- Chirurgie de la cheville
- Instabilité chronique de cheville
- Récidive d'une entorse datant de moins de 3 mois
- En lien avec le dispositif de réalité virtuelle : épilepsie non stabilisée, traumatisme facial < 3 mois, déficience auditive ou visuelle, douleurs provoquées à l'utilisation de la réalité virtuelle
- Mineurs
- Femmes enceintes ou allaitantes
- Patients sous tutelle, curatelle ou sauvegarde de justice

- Personne privées de liberté
- Patients n'étant pas en capacité de comprendre les explications ou n'étant pas capable de participer correctement (trouble cognitif, barrière de la langue)

4. Stratégie et procédure de l'étude

Les participants auront deux séances de kinésithérapie par semaine, réalisées par les kinésithérapeutes respectifs des équipes sélectionnées. En effet, cela permet d'avoir un interlocuteur privilégié pour plusieurs patients. De même, cela ajoute un aspect pratique avec l'utilisation de moins de casques de réalité virtuelle. Les patients réaliseront donc leurs séances de rééducation auprès de leur kinésithérapeute habituel et dans leurs locaux habituels afin de limiter les déplacements des sportifs au CHL.

On sait qu'en sélectionnant des patients sportifs professionnels et semi-professionnels, le recours au kinésithérapeute sera plus fréquent au cours d'une semaine qu'un patient sportif amateur. Nous avons décidé de faire réaliser 2 séances minimum avec mesures des critères de jugements lors de ces 2 rendez-vous. Le nombre de séances, ainsi que leurs durées, réalisés par le sportif seront inscrits pour pouvoir essayer de comparer de façon plus exhaustive les deux groupes.

4.1. Note contextuelle

Avant de détailler les pratiques de chaque intervention, il m'a semblé intéressant de diverger un instant du protocole afin de contextualiser les éléments de chaque groupe. Cela permettra de mieux appréhender et comprendre les choix d'intervention qui ont été faits pour ce protocole.

Les deux groupes sont détaillés successivement et comportent un échange avec un professionnel dédié dans chaque groupe, afin d'obtenir plus de détails et de pertinence.

a. Le groupe rééducation standard

La rééducation auprès d'un kinésithérapeute est actuellement la prise en charge recommandée concernant les entorses de cheville.

Les dernières recommandations de la HAS datant de 2025 confirment que le traitement de première intention pour l'entorse du plan latéral de la cheville est la rééducation, à débiter dès la première semaine du traumatisme. Ces recommandations insistent sur une prise en charge individualisée et non standardisée. Elles insistent également sur le fait que les techniques passives, utilisées seules, ne sont pas recommandées. (9)

Le JOSPT (Journal of Orthopaedic and sports physical therapy) a également émis des recommandations, datant de 2021, préconisant la mise en place de programmes de rééducation structurés. En effet, de nombreuses personnes ayant présenté un traumatisme du compartiment latéral de la cheville ne le traitent pas, et présentent dans le futur des douleurs et se plaignent d'instabilités ou de raideurs. On retrouve dans ces recommandations une prise en charge avec des exercices actifs, un travail de récupération des amplitudes articulaires, un travail neuromusculaire, de la rééducation posturale et un travail de l'équilibre. Ils ont également évoqué d'autres types de traitements comme l'acupuncture, l'électrothérapie ou la cryothérapie, sans qu'aucun ne montre de franc bénéfice ou ne soit supérieur à la prise en charge rééducative fonctionnelle. (44)

Le travail de la proprioception a une part importante dans ces programmes de rééducation pour corriger les déficits et réduire le risque de récurrence des sportifs. (44)

Enfin, concernant les critères de retour au sport, une étude de Smith et al. datant de 2021 a proposé le PAASS pour guider les décisions de retour au sport. Il s'agit d'une étude réalisée avec la méthode Delphi évaluant 5 domaines : la douleur (Pain), les déficits de la cheville (Ankle Impairment : amplitude, force, endurance), la perception de l'athlète (Athlete perception : confiance dans l'articulation, part psychologique), contrôle sensorimoteur (Sensorimotor control : proprioception, contrôle postural dynamique, équilibre) et les performances sportives et fonctionnelles (Sport and functional performance : saut, agilité, capacité à faire des activités en lien avec la pratique sportive et à faire un entraînement complet). Ces critères sont bien entendu à prendre en compte dans le contexte global du sportif et de sa pratique. (45)

Bien que les recommandations de bonnes pratiques rédigées par la HAS en 2025 encadrent la rééducation de l'entorse du plan latéral de la cheville, la littérature souligne toutefois un écart important et persistant entre ces conseils et les pratiques cliniques réelles. J'ai souhaité aborder cette variabilité avec un entretien auprès d'un kinésithérapeute s'occupant d'un club de football évoluant en Ligue 1. Il s'agit d'un kinésithérapeute évoluant depuis déjà deux ans auprès des professionnels et qui a également effectué trois saisons avec l'académie.

Ce professionnel souligne d'abord la disparité entre le travail dans les clubs de sportifs professionnels et le travail en cabinet libéral qui s'adresse plutôt aux sportifs amateurs. Il compare ainsi la fréquence des séances des sportifs professionnels : « *nous sommes en contact tous les jours avec eux, c'est même nous qui allons les chercher* » par rapport aux patients amateurs où la fréquence des séances varient selon les emplois du temps respectifs et leur niveau de pratique.

Il souligne par ailleurs que la proprioception est un terme assez générique dans lequel on peut retrouver plein de notions et qu'il préfère le terme de « *rééducation neuromusculaire* ».

Il explique que pour les sportifs professionnels, des bilans sont réalisés en pré-saison sur la fonction articulaire et musculaire.

Pour la cheville par exemple, il est réalisé des tests de mobilités avec le wall-test mesurant l'amplitude passive de la dorsiflexion de la cheville. Il s'agit d'un test mesurant la distance maximale entre l'hallux et le mur situé en face jusqu'à ce que le genou ne puisse plus toucher le mur sans décoller le talon. Il est également réalisé des tests de force isométrique, notamment des gastrocnémiens et du soléaire grâce à des plaques de pression. Les éverseurs et inverseurs sont aussi testés si le joueur a déjà présenté des antécédents d'entorse de la cheville. Des tests de saut verticaux (drop jump test et le single drop jump test) et horizontaux (side hop test) sont également réalisés. Les sauts horizontaux sont plus souvent polyarticulaires.

Les sportifs professionnels démarrent donc leur début de saison avec des données de références qui sont idéales pour le suivi dans la saison ou pour guider

une rééducation à la suite d'une blessure.

Concernant les sportifs amateurs, il y a rarement de données, en dehors des épisodes de récives où elles sont déjà collectées. Les délais de prise en charge sont également beaucoup plus longs en fonction du type de sportif, du temps de recours au médecin et donc de la prescription. *« Il peut facilement s'écouler 2 à 3 semaines entre le traumatisme et la prise en charge en cabinet chez les sportifs amateurs ».*

Concernant la prise en charge des sportifs professionnels qu'il suit, il est systématiquement respecté un délai de 48h à la suite de la blessure avant de débiter la kinésithérapie, bien que la littérature semble dire que l'on pourrait débiter la rééducation tout de suite. Il est alors effectué des soins de conservation avec une mise en décharge si besoin, cryothérapie et soins de nursing. Il s'agit du protocole PEACE&LOVE.

Ensuite, une fois cette période respectée, la rééducation peut débiter. Il n'y a pas de protocole franchement établi ni de phase exécutée à la suite les unes des autres. Auparavant, les protocoles étaient très détaillés avec par exemple *« de la physiothérapie entre le premier et le cinquième jour, le travail d'amplitude articulaire entre le cinquième et le dixième jour, le renforcement musculaire entre le dixième jour et la troisième semaine »* etc...

Ce n'est plus le cas aujourd'hui, où toutes les phases sont maintenant mélangées et adaptées selon la présentation clinique et notamment douloureuse du patient pour un même grade d'entorse. En effet, comme il l'a été souligné par ce kinésithérapeute *« un joueur avec des antécédents d'entorses pourra avoir une cheville plus réactionnelle et avec une symptomatologie douloureuse plus importante pour un plus petit traumatisme, qu'un joueur qui fera sa première entorse, même si ses lésions sont plus importantes ».*

La fréquence de la prise en charge varie évidemment. Un sportif professionnel sera vu tous les jours tandis qu'un amateur sera vu en consultation 2 à 3 fois par semaine, avec une autonomisation au domicile au fur et à mesure et beaucoup de travail éducatif sur le mode de vie notamment. Le nombre de séances est souvent plus important au début du fait de difficultés d'observance sur la

réalisation des exercices en autonomie notamment.

L'objectif premier en rééducation est de récupérer la flexion dorsale. Il s'ajoute ensuite un travail de renforcement musculaire analytique. Le renforcement musculaire analytique consiste au renforcement ciblé muscle par muscle. Il y est travaillé notamment les muscles intrinsèques du pied comme le long fléchisseur de l'hallux qui a un rôle stabilisateur du pied. Ensuite, on ajoute progressivement le renforcement musculaire fonctionnel, qui s'intègre dans la reprogrammation neuromotrice avec un travail notamment de pliométrie. Le renforcement fonctionnel vise à retrouver des gestes du quotidien et notamment des gestes de la pratique sportive en utilisant tout le corps et pas seulement un groupe musculaire précis. Un travail cardio est également effectué afin que le patient ne perde pas trop de condition physique avant le retour au sport. Ce travail est débuté assez précocement, même en cas d'appui complet non réalisable. Des circuits de cardio-training peuvent être faits assis afin de travailler le système cardio-respiratoire et que le patient ne soit pas déconditionné au moment de débiter les travaux de sauts, courses, etc...

Au cours de la rééducation, les critères fixés au départ et avant la blessure chez les sportifs professionnels sont retestés. Par exemple, on peut tester la force du muscle soléaire avant un Return To Run (RTR) puis un Return To Sport (RTP) ou Return To Play (RTP).

Chez les sportifs amateurs, l'Ankle-Go-Test est réalisé en fin de rééducation avec un objectif de plus de 20 points pour envisager un RTS, « *bien que ce score reste subjectif selon les ressentis du patient* ». Le SEBT est également réalisé au cours de la rééducation pour noter les progrès du patient. Ces scores sont cependant peu utilisés chez les footballeurs du club où travaille ce kinésithérapeute où les scores articulaires, musculaires et de sauts uni et bipodaux sont utilisés comme valeur de référence.

Les phases entre la kinésithérapie pure, la réathlétisation et le retour au sport sont finalement assez intriquées entre elles. Elles varient peu entre elles selon le type de sport pratiqué, sauf pour la réathlétisation où le travail va être, bien entendu, axé vers les mouvements pratiqués habituellement ou même selon le

type de poste. « *Au football par exemple, le jeu d'un défenseur central sera beaucoup plus physique et il faudra axer le travail sur de la force musculaire par exemple. Alors qu'un attaquant travaillera un peu plus son explosivité et son sprint.* »

Ensuite, concernant la réathlétisation chez les professionnels, ce sont les préparateurs physiques qui font ce travail alors que ce sont les kinésithérapeutes qui le font pour leurs patients au cabinet. La difficulté de la réathlétisation au cabinet est souvent liée au manque de matériel et surtout de place pour réaliser le geste sportif comme le travail de passe, de sprint, d'agilité avec le T-Test par exemple ou de changement de direction.

Les outils d'évaluation sont des outils très onéreux pour les kinésithérapeutes. Ils préfèrent donc ne pas investir et utiliser des outils plus simples et reproductibles comme la distance de saut, les angulations articulaires, etc... Le kinésithérapeute que j'ai rencontré utilise également des plateformes de force (force frame) pour avoir des mesures objectives auprès des joueurs de football.

J'ai également souhaité avoir son avis concernant l'intégration de la VR dans la pratique, bien que cela ne concerne pas le groupe d'intervention en rééducation standard pour lequel je l'ai interrogé. Il répond que cela pourrait présenter un intérêt surtout chez les patients au cabinet du fait du manque de place pour venir travailler le geste sportif, dans un environnement maîtrisé et en mettant en place des mises en situation fonctionnelles de difficultés croissantes. Cet outil présente également un avantage concernant l'adhésion du patient, du fait de son côté ludique et nouvelle technologie, notamment auprès des sportifs les plus jeunes.

Un casque d'une marque différente qu'H'ability avait été prêté aux joueurs de l'équipe dont s'occupe ce kinésithérapeute et utilisé surtout par les préparateurs physiques et il y avait eu un très bon retour de la part des joueurs sur son usage. Le casque n'avait été utilisé que pour l'entraînement fonctionnel a priori.

L'implémentation de la VR dans la rééducation standard pourrait donc, selon ce professionnel, se positionner comme un « *outil complémentaire intéressant* », à la fois pour favoriser l'adhésion et aussi travailler le geste fonctionnel dans un

environnement maîtrisé avec des difficultés croissantes, à la fois chez les sportifs amateurs ou professionnels.

b. Le groupe réalité virtuelle

Pour les personnes se trouvant dans le groupe réalité virtuelle, leur séance de kinésithérapie se terminera par 15 minutes d'exercices de proprioception avec le casque de réalité virtuelle H'Ability® avec des courtes pauses entre chaque exercice. La séance durera le même temps entre les 2 groupes.

J'ai également pu m'entretenir avec Mme Marie-Odile McKeeney, associée et directrice générale de la société H'ability.

Nous avons pu échanger sur les exercices proposés par la plateforme et les possibilités d'adaptation sur chaque type d'exercice et selon les besoins du patient. Les exercices proposés via la réalité virtuelle seront de difficultés croissantes. Le module de réalité virtuelle est composé d'un casque et peut être complété par des capteurs fixés au niveau des membres inférieurs pour analyser les mouvements des pieds et des jambes et récupérer des données. Concernant les mouvements des membres supérieurs et leurs données, les caméras fixées sur le casque permettent de les mesurer sans avoir besoin de capteurs supplémentaires.

Les exercices peuvent se réaliser soit en réalité virtuelle, soit en réalité augmentée. L'avantage de la réalité augmentée est que, malgré le port du casque, l'environnement autour reste visible et permet de faciliter certains types de déplacements selon l'exercice réalisé.

Un programme peut être mis en place, personnalisé avec différents types d'exercices par séance et sur plusieurs séances, permettant d'anticiper les exercices et ce que l'on souhaite travailler au fil des séances.

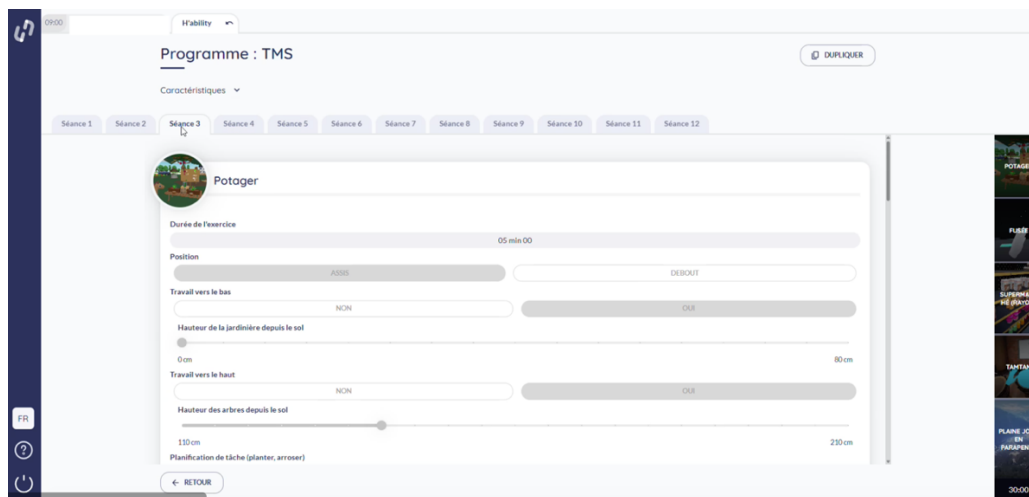


Figure 5 : Programme avec séances prédéfinies H'Ability

De nombreux exercices sont disponibles sur les plateformes en fonction de ce que l'on souhaite travailler et notés selon leur difficulté de 1 à 3 étoiles. Certains travaillent sur le membre supérieur, le membre inférieur, le rachis dorso-lombaire ou cervical ou même des exercices d'équilibre par exemple.

Ce sont les exercices sur le travail du membre inférieur et sur l'équilibre qui vont nous intéresser principalement ici. Ils peuvent être travaillés dans une zone restreinte, à 180° ou même 360°, donc dans toute la pièce.

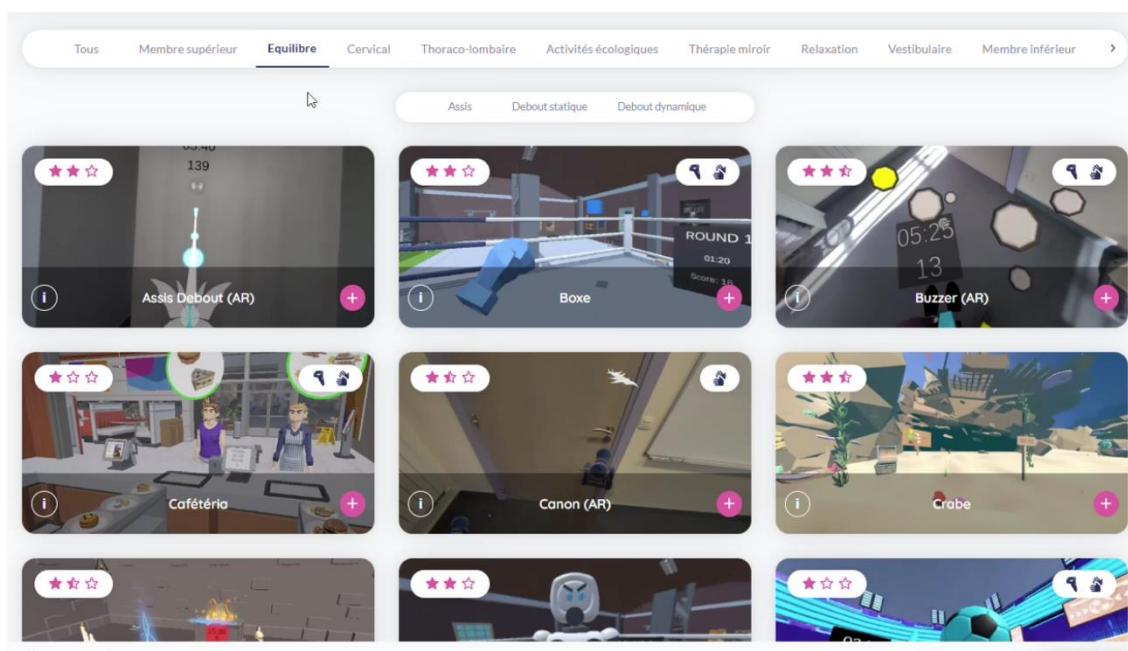


Figure 6 : Banque d'exercices H'Ability

Les exercices travaillant l'équilibre et les membres inférieurs sont multiples et leurs difficultés modulables. Certains exercices disponibles sur la plateforme

seront réalisés dans le cadre du protocole de proprioception. J'ai relevé par la suite les exercices qui me semblaient le plus pertinents dans le contexte d'entorse du plan latéral de la cheville.

L'exercice « Forêt enchantée » est un exercice où le patient doit, avec ses mains, venir toucher des lucioles dans une forêt. Il peut être rendu plus difficile en mettant en place des lucioles dans une zone plus large ou qu'elles soient plus éloignées. La vitesse d'exécution peut être augmentée, les lucioles peuvent être numérotées pour qu'elles soient touchées dans un ordre particulier ou encore avec des couleurs différentes à toucher ou non. Initialement, il s'agit d'un exercice pour le travail du membre supérieur mais peut permettre de travailler la proprioception, notamment en passant en unipodal ou sur sol instable (tapis, mousse, etc).

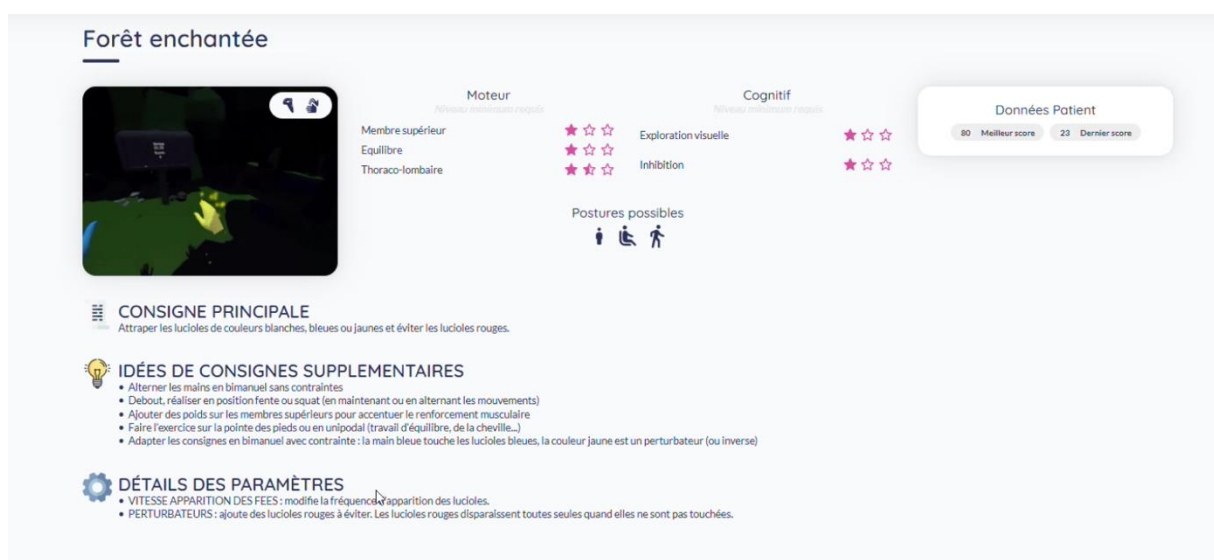


Figure 7 : Exercice forêt enchantée H'Ability

L'exercice des « buzzers » est un exercice de proprioception similaire avec des difficultés modulables : contrainte couleur, temps d'exécution, retour au centre de la zone, augmentation de la taille de la zone, etc...

09:00 Nouvelle séance +

Casque 44 (48 %) > 3 Exercices sélectionnés > PARAMETRAGE

Utilisation des mains NON OUI

Options BIMANUEL BIMANUEL AVEC CONTRAINTES COULEUR MAIN GAUCHE MAIN DROITE

[NON MODIFIABLE DURANT L'EXERCICE] Utilisation des pieds NON [TRACKERS CHEVILLES OBLIGATOIRES] OUI

Nombre de buzzer 3 20

Distance maximum 40 cm 200 cm

Hauteur maximum 100 cm 220 cm

Hauteur minimum 0 cm 100 cm

Activation des buzzers APRES UN DELAI LUN APRES L'AUTRE TOUS NUMEROTES

Retour au centre après chaque buzzer NON OUI

Perturbateurs NON OUI

← RETOUR SURVANT →

Figure 8 : Exemple de modulation possible des séances

L'exercice de football est de récupérer un ballon lancé à plus ou moins grande vitesse, dans une zone plus ou moins grande avec une contrainte des pieds possible, des ballons à ne pas toucher et des perturbateurs.

L'exercice du gardien de but est similaire. L'exercice des tirs au but est également très modulable et est réalisable en réalité augmentée afin de pouvoir augmenter la surface de jeu et de se déplacer dans l'environnement en fonction des contraintes données.

Foot 180°/360°

Moteur
Niveau : intermédiaire / facile

- Membre supérieur
- Equilibre
- Thoraco-lombaire

Cognitif
Niveau : intermédiaire / facile

- Exploration visuelle
- Inhibition

Postures possibles

CONSIGNE PRINCIPALE
Toucher les ballons avec les mains.

IDÉES DE CONSIGNES SUPPLEMENTAIRES

- Alterner les mains en bimanuel sans contrainte
- Debout, réaliser en position fente ou squat (en maintenant ou en alternant les mouvements)
- Réaliser l'exercice sur un plan instable (assis sur un ballon, debout sur un tapis...)
- Ajouter des poids sur les membres supérieurs pour plus de renforcement musculaire

DÉTAILS DES PARAMÈTRES

- TEMPS DE REACTION ET D'EXECUTION : varie le temps nécessaire pour que le patient voit et atteigne le ballon de foot (Normal : 10 secondes, Rapide : 7 secondes, Très rapide : 5 secondes).
- PERTURBATEURS : ajout de des ballons rouges à ne pas toucher. Il faut attendre que le perturbateur parte et l'apparition du prochain ballon de foot.

Foot 180°/360°

79 Meilleur score 65 Dernier score

Durée de l'exercice: 01 min 30

Position: ASSIS

Zones: CENTRE, BAS, HAUT, EXTREME HAUT, EXTREME BAS, GAUCHE, DROITE, EXTREME GAUCHE, EXTREME DROITE, PARTOUT

Utilisation des mains: NON

[NON MODIFIABLE DURANT L'EXERCICE] Utilisation des pieds: NON

Distance des ballons (cm): 40 cm

Temps de réaction et d'exécution: NORMAL (10S)

Présence de perturbateurs: NON

Air de vue: NON

Figure 9 : Exercice de football et ses modulations possibles

Tous ces exercices peuvent être intégrés dans une séance. On choisira une séance de 15 minutes, avec des courtes pauses entre 30 secondes et 1m30 entre chaque type d'exercice. Il y aura environ 4 exercices par session dont la durée et la difficulté sera à adapter en fonction des résultats de la séance précédente et de l'évolution du patient.

Les séances sont gardées en mémoire avec leurs résultats.

L'autonomisation des patients est possible avec la plateforme qui est plutôt intuitive mais, idéalement, le kinésithérapeute doit rester proche du patient pour sécuriser et s'assurer du bon déroulé de la rééducation.

Les séances peuvent être prédéfinies en avance sans possibilité de modification mais il est plutôt souhaitable que les kinésithérapeutes puissent adapter les séances en temps réel sur certains exercices, selon les retours immédiats du patient.



Figure 10 : Exemple de séances type, déjà programmées

Une fois ces éléments posés et cette digression au protocole terminée, nous pouvons revenir à la rédaction du protocole avec la description de l'intervention dans chaque groupe.

4.2. Intervention dans l'étude

Au cours de l'intervention, les patients auront à effectuer 2 séances de kinésithérapie d'une heure environ avec mobilisation et récupération douce des amplitudes articulaires, physiothérapie pour drainage de l'œdème, renforcement musculaire des stabilisateurs de la cheville, en isométrique, concentrique et excentrique dans toutes les angulations, avec une augmentation progressive de la charge et un renforcement des muscles intrinsèques du pied. Il y a également un travail de renforcement musculaire global des membres inférieurs.

Parmi les exercices communs entre les deux groupes, il y aura un travail de récupération de la flexion dorsale, une récupération de l'appui progressif avec travail d'un schéma de marche complet et correct. Le renforcement musculaire pourra se faire au poids du corps puis avec l'ajout progressif de charge avec des poids ou des élastiques selon la préférence du thérapeute. Le vélo sera réintroduit progressivement afin de poursuivre l'entretien cardiovasculaire ainsi que la mise en place de circuit de cardio-training. Ces circuits pourront être faits en décharge initialement si l'appui est trop douloureux puis avec une remise en charge progressive. Le travail de renforcement des membres inférieurs, des stabilisateurs de la cheville et des muscles intrinsèques du pied sera poursuivi tout au long de la rééducation.

Il est également expliqué et montré au patient des exercices à réaliser au domicile afin de continuer la rééducation en dehors du cabinet.

Il s'ajoute ensuite un travail proprioceptif qui distinguera les 2 groupes. Ce travail se mêlera au travail de renforcement musculaire du début à la fin de la rééducation, avec une difficulté croissante, adaptée à la progression de chaque patient.

Le premier groupe rééducation standard aura un travail sur sol instable, en appui monopodal, un travail de changement de direction et de saut verticaux et horizontaux.

Pour les patients sélectionnés dans le groupe réalité virtuelle, il est utilisé le casque H'ability® pour compléter cette rééducation.

La partie de la séance avec le casque durera environ 15 minutes au total, sous surveillance du kinésithérapeute. Les exercices seront sélectionnés en amont par le kinésithérapeute et adaptés à la progression du patient. H'ability propose un programme automatisé progressif qui peut être utilisé mais dont la difficulté des exercices peut être adaptée à chaque séance selon le ressenti du patient. Les exercices solliciteront l'équilibre avec un travail en unipodal, des changements de direction pour atteindre des cibles qui bougent, tout en obligeant le patient à analyser la situation extérieure et mettre en place un focus externe plus important. Les exercices pourront être réalisés en réalité virtuelle immersive ou réalité augmentée (lorsque le casque permet quand même de voir l'environnement extérieur), quand les exercices nécessitent des déplacements plus importants.

A noter que ces 15 minutes de rééducation avec le casque de réalité virtuelle seront à faire au cours de la séance et ne seront pas faites en supplément afin de garder un temps de rééducation similaire entre les patients de chaque groupe.

Les exercices réalisés dans chaque groupe seront bien évidemment laissés à l'appréciation du thérapeute en fonction de sa pratique habituelle et du patient. Il sera également fourni aux thérapeutes une grille GUIDE-Rehab (GUIdeline for Intervention DDescription in Rehabilitation) qu'ils complèteront au fur et à mesure de la prise en charge. Cette grille a pour objectif de normaliser les descriptions d'intervention en rééducation afin de les standardiser et que les comparaisons entre différentes rééducations soient plus aisées en recherche (cf. annexe).

4.3. Procédure de comparaison

Le groupe contrôle sera comparé au groupe de réalité virtuelle lors des 3 séances où les tests SEBT et/ou Ankle-Go-Test seront effectués. A la fin des 8 semaines, il sera également comparé l'évolution des paramètres de douleur, de charge interne, de confiance dans l'articulation, le score CAIT et de la durée avant le retour au sport depuis la blessure. Ces paramètres secondaires sont mesurés à chaque séance de kinésithérapie, en dehors du score CAIT qui suit la même rythmicité que le SEBT et l'Ankle-Go-Test.

5. Déroulement

5.1. Recrutement

L'étude sera proposée aux patients sportifs professionnels ou semi-professionnels présentant une entorse aiguë du plan latéral de la cheville, dont les critères d'inclusion et d'exclusion ont été exposés précédemment. Il s'agira de patients ayant bénéficié d'une radiographie de la cheville lésée, prescrite par un service d'urgences ou par le médecin qui les verra en consultation.

Ils seront pris en charge par un kinésithérapeute avec une rééducation standard et un casque H'ability® en fonction du groupe dans lequel la personne est affectée.

Une information orale et écrite seront délivrées au patient. Si le patient accepte, il sera recontacté par un médecin du sport pour s'assurer de l'absence de critère d'exclusion et réaliser la visite d'inclusion.

5.2. Procédure d'inclusion

La visite d'inclusion aura lieu auprès du médecin du sport. Les patients seront adressés par la filière traumatologie des urgences du CH de Laval ou d'Angers, par le médecin généraliste ou par le médecin du sport lui-même ou les autres professionnels type kinésithérapeutes, dans le cadre du suivi d'équipes professionnelles. Le médecin du sport qui voit le patient en consultation pourra alors réaliser l'échographie permettant de grader l'entorse et de s'assurer que le patient ne présente pas de critères d'exclusion.

Lors de la visite d'inclusion, si le patient remplit les critères de sélection, il lui est de nouveau délivré l'information orale, ainsi que les réponses aux éventuelles questions qu'il pourrait avoir. Si le patient accepte, le formulaire de consentement éclairé est signé en deux exemplaires par les différentes parties. La date de l'information, le délai de réflexion et la date de signature du consentement sont documentés dans le dossier patient.

Au cours de cette visite, l'investigateur recueille les données socio-démographique (âge, sexe, indice de masse corporelle, pratique sportive et nombre d'heures de pratique) et médicales (latéralité, côté affecté, type

d'atteinte, traitements actuels, antécédents de blessure).

5.3. Suivi des personnes se prêtant à la recherche

A chaque fin de séance, les patients remplissent les échelles de douleur, de charge interne et de confiance dans leur articulation lésée. Au cours de la rééducation, le kinésithérapeute réalisera lors de la première, quatrième et huitième semaine de rééducation, une séance où il sera effectué en plus les tests fonctionnels de la cheville.

Afin de limiter les déplacements des patients auprès des kinésithérapeutes et que le déplacement ne soit pas un facteur limitant dans la participation à ce projet, les kinésithérapeutes des équipes professionnelles concernées, seront équipés des casques de réalité virtuelle, permettant une prise en charge optimale et adaptée à l'emploi du temps de chacun. De cette façon, ce seront les kinésithérapeutes connaissant les joueurs qui effectueront les séances de rééducation standards et de réalité virtuelle.

	Inclusion	S1	S4	S8	Toutes les séances
Information, consentement, randomisation	X				
Recueil des données socio-démographiques	X				
Échelle de douleur, confiance dans l'articulation, charge interne après les séances					X
Score CAIT		X	X	X	
Test SEBT		X	X	X	
Ankle-Go-Test (SEBT inclus)				X	

Tableau II : Calendrier de l'étude

5.4. Arrêt de participation d'une personne à la recherche

Les personnes participant à la recherche peuvent demander à sortir de l'étude à n'importe quel moment et quelle qu'en soit la raison. L'investigateur peut interrompre temporairement ou définitivement la participation d'une personne

pour toute raison qui servirait au mieux les intérêts de cette personne, en particulier en cas d'effets indésirables graves ou de faits nouveaux vis-à-vis de la recherche. En cas de perdus de vue, l'investigateur met tout en œuvre pour reprendre contact avec la personne et assurer le suivi prévu dans l'étude. En cas de sortie prématurée, l'investigateur en documente les raisons de façon aussi complète que possible. Les personnes perdues de vue ou sorties prématurément de l'étude ne sont pas remplacées. Les données recueillies pour les personnes perdues de vue ou sorties prématurément de l'étude seront exploitées au moment des analyses y compris en cas de retrait du consentement (sauf demande d'exercice du droit d'effacement des données personnelles par la personne). Si le patient demande l'effacement de ses données, les données nécessaires à l'évaluation des données de sécurité seront conservées.

5.5. Durée de la recherche

Durée de l'inclusion : 6 mois

Durée de participation 8 semaines : 2 séances par semaines de kinésithérapie complétées, selon le groupe, par de la réalité virtuelle en fin de séance. Chaque groupe aura une séance d'environ une heure, deux fois par semaine. Dans le groupe réalité virtuelle, les 15 dernières minutes de la séance seront dédiées à un travail proprioceptif, pliométrique avec le casque de réalité virtuelle. Dans le groupe standard, les dernières 15 minutes seront également dédié à ce type d'exercice mais réalisées en situation conventionnelle.

Durée totale de l'étude (durée d'inclusion + durée de participation) : 8 mois.

6. Analyse statistique

Afin de déterminer si les effets du protocole de rééducation intégrant la réalité virtuelle sont significativement supérieurs à ceux d'une rééducation standard, on utilisera le critère de jugement principal, le Star Exclusion Balance Test simplifié (SEBT), qui est validé dans le suivi des instabilités de cheville.

Pour cela, on se basera sur les valeurs de Minimal Detectable Change (MDC) qui correspondent au seuil au-delà duquel un changement est considéré comme réel

et non attribuable à une erreur de mesure. Dans la littérature, le MCD du SEBT varie entre 6,73% et 13,36% (40). Dès lors, un gain supérieur à 7% de la longueur du membre inférieur dans une direction sera considérée comme un changement significatif.

Les valeurs plus élevées de MCD sont plus généralement observées pour les directions postérieures et notamment postéro-médiale. Cette orientation est très utilisée dans les études sur les chevilles car elle est très liée à la stabilité fonctionnelle. Un changement dans cette direction doit donc être plus important pour être considéré comme significatif. Le MCD est souvent plus élevé, parfois jusqu'à 13% (46).

Ainsi en fonction de la direction testée, le seuil de significativité sera à adapter, la direction postéro-médiale étant la plus pertinente pour la stabilité fonctionnelle.

L'analyse statistique sera faite par une analyse de variance (ANOVA) avec des mesures répétées et un plan factoriel mixte 2x3. Elle sera faite à l'aide du logiciel JANOVI (<https://cloud.jamovi.org/>). On aura comme facteur inter-sujet le groupe kinésithérapie et le groupe kinésithérapie + réalité virtuelle. Le facteur intra-sujet sera le temps (pré-traitement, durant le traitement, post-traitement).

Ce type d'analyse statistique permettra d'analyser les groupes au cours du temps et de leur rééducation. Les groupes seront a priori comparables au début de protocole et l'étude de variance permettra de mettre en évidence à partir de quand les groupes divergent, s'ils doivent diverger, et d'obtenir une taille d'effet en cas de différence significative.

L'ANOVA permet d'identifier trois effets principaux : l'effet de groupe (différence entre les traitements), l'effet temps (évolution naturelle au cours de la rééducation) et l'effet d'interaction groupe/temps, qui constitue l'effet d'intérêt principal. Cette interaction révélera si l'évolution temporelle diffère significativement entre les 2 types de traitements.

En cas d'effet d'interaction significatif ($p < 0,05$), des comparaisons planifiées avec correction de Bonferroni seront réalisées pour identifier les temps de mesures où les groupes diffèrent significativement.

L'ankle-Go-Test n'étant réalisé qu'en fin de rééducation, un test de Student pourra être effectué à la fin, afin de comparer le groupe test du groupe contrôle et tenter de mettre en évidence une différence significative. Une différence statistiquement significative sera retenue pour une valeur de $p < 0,05$, avec calcul des intervalles de confiance à 95 % pour les différences de moyennes.

RÉSULTATS ATTENDUS

À la lecture de la littérature scientifique actuelle, plusieurs hypothèses peuvent être émises concernant les bénéfices de la réalité virtuelle dans la rééducation des entorses de cheville chez les sportifs professionnels.

Dans notre pratique courante, la kinésithérapie et la rééducation standard ont déjà fait leurs preuves dans la prise en charge des troubles musculosquelettiques aigus ou chroniques tant sur le plan de l'équilibre et de la stabilité ainsi que de la mobilité (47,48). Les 2 groupes devraient donc présenter une amélioration significative de l'équilibre dynamique, du contrôle postural, de la force musculaire et de la douleur au cours du protocole car ils contiennent tous deux de la rééducation standard.

Concernant le groupe réalité virtuelle, une meilleure implication du sportif est également attendue. De plus, une méta-analyse réalisée en 2024 portant sur 12 essais contrôlés randomisés chez des patients présentant une instabilité de cheville, a confirmé que la réalité virtuelle améliore le statut fonctionnel, l'équilibre ainsi que la force des muscles éverseurs de la cheville chez les patients inclus (46).

Au-delà de l'amélioration attendue dans les deux groupes, une amélioration plus rapide est envisagée dans le groupe réalité virtuelle du fait de son travail spécifique sur le travail de l'équilibre et le travail postural. Une étude de 2024 comparant la réalité virtuelle et l'entraînement spécifique de l'équilibre chez les footballeurs avec une instabilité chronique de cheville a montré que les 2 techniques entre le travail postural pur et le travail avec la VR réduisaient l'instabilité perçue, notamment par l'amélioration du contrôle neuromusculaire et la proprioception articulaire. Cette étude utilisait également le Y-balance test (ou SEBT) parmi les critères de jugements secondaires (49). Une autre étude de 2025 a mis en avant une supériorité des exercices en réalité virtuelle chez des patients opérés d'une reconstruction du ligament croisé antérieur. La VR semble plus efficace dans le travail proprioceptif mais également permettre aux patients de s'investir de façon plus constante dans la rééducation et donc forcément d'en

améliorer les résultats (50).

L'un des résultats les plus attendus est une meilleure implication du sportif dans sa rééducation grâce à l'aspect ludique proposé par la réalité virtuelle. La réalité virtuelle offre en effet, un environnement plus engageant comparativement à d'autres approches rééducatives, améliorant ainsi l'adhésion et la motivation du patient. Une meilleure implication dans une rééducation améliore, de fait, les résultats obtenus (51). Une méta-analyse réalisée par Plavoukou et al. a également mis en évidence une implication du patient allant de 81 à 93% chez des patients atteints de troubles musculosquelettiques chroniques (35). L'implication sera mesurée par le nombre de séances réalisées ainsi que leur durée. Le taux d'abandon sera également collecté. Le temps de connexion avec le casque de réalité virtuelle pourra également être récupéré dans le groupe VR ainsi que le nombre d'exercices réalisés. Il aurait également été intéressant de mesurer le temps de connexion des patients s'ils avaient pu avoir le casque au domicile pour la réalisation de certains exercices.

Dans notre analyse statistique, nous allons aussi réaliser une analyse de variance à la recherche d'une divergence de progression entre les deux groupes, sans forcément mettre en évidence de différence significative au terme de la rééducation, via le test de Student. Ce résultat concorderait avec ce que l'on peut trouver dans la littérature actuelle : la réalité virtuelle qui se place plutôt comme un complément efficace à la rééducation, plutôt qu'un véritable substitut. Son utilisation semble être efficace sur des paramètres comme la douleur, la rééducation neuromusculaire et l'adhésion des patients (35).

Par ailleurs, mettre en évidence une divergence de progression entre les deux groupes, notamment en faveur du groupe réalité virtuelle constituerait une avancée notamment auprès des sportifs professionnels dont le temps de retour au sport est souvent réduit à cause d'enjeux sportifs et économiques. Cela pourrait ainsi contribuer à l'élaboration de protocoles de rééducation optimisés pour ce type de patients.

Pour conclure, il peut être attendu une diminution de la symptomatologie

douloureuse chez les patients inclus dans le groupe VR. En effet, il a été mentionné dans plusieurs études que la réalité virtuelle améliorait la gestion de la douleur grâce à l'immersion et aux mécanismes de distraction (51).

DISCUSSION

Mise en place du protocole

Actuellement, ce protocole est en cours d'échanges et de discussions avec la Délégation à la Recherche Clinique et à l'Innovation (DRCI) du CHU d'Angers. L'intérêt de la réalisation d'une étude pilote a été évoquée lors d'échange sur la faisabilité de ce protocole. Selon la DRCI, ce protocole peut être difficile à mettre en place car il implique des professionnels libéraux, l'usage de matériels et le budget serait donc important. L'étude pilote impliquerait donc moins de patients et donc un budget et une logistique réduits. Cela permettrait également de vérifier que les critères fonctionnels choisis sont bien mesurables et reproductibles ainsi que de vérifier la tolérance du dispositif de VR chez les patients.

En effet, la mise en place d'une étude pilote au préalable concernant plutôt la sécurité de l'utilisation de ce dispositif semble intéressante avant d'envisager une généralisation de ce protocole. Cette étude pilote serait limitée dans un premier temps à un seul club sportif afin que les conditions d'application du protocole soient bien contrôlées et homogènes. Le critère de jugement principal serait alors la tolérance des sportifs à l'utilisation du dispositif dans un contexte de rééducation. Nous aurions également la possibilité de relever les effets indésirables potentiels qui n'avaient pas été anticipés. Nous pourrions par ailleurs estimer le taux d'acceptabilité du dispositif et identifier les potentielles difficultés à sa mise en pratique durant l'essai à plus grande échelle.

La question de la budgétisation de ce protocole s'est donc posée avec le recrutement de kinésithérapeutes libéraux dans l'étude, le prêt de matériel, etc... Le protocole étant réalisé avec le Dr Champagne, qui travaille au CH de Laval et est déjà en relation avec l'équipe d'H'ability, nous orienterons nos recrutements vers des équipes proches du CH lavallois. Nous avons notamment l'équipe de football du stade Lavallois en Ligue 2, l'équipe de handball masculine de Nationale 1 HSM Château-Gontier, l'équipe de handball féminine de Nationale 2 CA Evronnais. Nous pouvons également contacter l'équipe de handball masculine de Nationale 2 d'Angers ainsi que l'équipe de basket féminine de basket d'Angers (UFAB).

Devant le questionnement sur l'intérêt de réaliser une étude pilote avant le protocole, les équipes et leurs kinésithérapeutes n'ont pas encore été contactés.

Applicabilités en médecine générale

Par ailleurs, dans ce protocole, j'ai souhaité aborder l'utilisation de la réalité virtuelle dans un sujet plutôt spécifique qui est la rééducation des entorses de chevilles chez les athlètes professionnels et semi-professionnels. Cependant, cette technologie ne se réduit pas au centre de rééducation d'athlètes de haut niveau. Le nombre d'articles portant sur le sujet de l'utilisation de cette technologie dans diverses applications a franchement augmenté depuis environ une dizaine d'années.

La question que nous sommes en droit de nous poser aujourd'hui est donc : quelles sont les applicabilités en médecine générale de ce type de technologie ?

L'utilisation au cabinet ne semble évidemment pas idéale à ce jour au vu du temps alloué à chaque consultation mais semble avoir un intérêt dans la prise en charge rééducative de plusieurs types de pathologies.

L'utilisation de la réalité virtuelle semble applicable dans des domaines multiples : prise en charge de la douleur chronique, des pathologies neurologiques ou neurodégénératives, des pathologies psychiatriques, en pédiatrie, pour la prévention des chutes, etc... Le choix est vaste.

Les cas d'utilisation les plus fréquemment retrouvés concernent la gestion de la douleur chronique qui est un sujet très récurrent en consultation. La méta-analyse écrite par Goudman et al en 2022 (52) portant sur 41 études et 25 méta-analyses met en évidence une taille d'effet de 1,22 en faveur de l'usage de la réalité virtuelle. Pour rappel, la taille d'effet est une mesure statistique permettant de définir l'ampleur de l'effet d'une intervention. Une taille d'effet supérieure à 0,8 est considérée comme élevée selon Cohen. Si l'on regarde plus en détail résultats de cette méta-analyse, la taille d'effet est de 1,6 dans l'amélioration de la douleur, 1,4 pour les capacités fonctionnelles. Les tailles d'effets sont plus faibles pour la mobilité, de l'ordre de 0,49. On retrouve également des améliorations pour les scores de qualité de vie et les résultats des tests psychologiques chez ces patients douloureux chroniques.

La prise en charge des troubles musculosquelettiques représente une part importante des consultations en médecine générale. Outre les traumatismes aigus comme les entorses ou les fractures, on retrouve également les lombalgies, les arthropathies ainsi que leurs rééducations. Les études sur l'utilisation de la réalité virtuelle dans ces pathologies sont positives, notamment pour les douleurs induites par les troubles musculosquelettiques et abondent donc dans le sens des méta-analyses portant sur la douleur chronique de façon plus globale.

La revue systématique de Paula Amorim et al en 2024 (53) a montré des bénéfices chez des patients souffrant de fibromyalgie, de brûlures, ou après une amputation. Il y a une diminution de l'anxiété, de la dépression, une diminution de l'utilisation de médicaments et même de la durée d'hospitalisation dans 71% des études incluses dans cette revue.

Le médecin généraliste suit également au long cours des pathologies neurologiques comme les accidents vasculaires cérébraux, la maladie de Parkinson, d'Alzheimer ou la sclérose en plaque par exemple. La réalité virtuelle est déjà utilisée dans plusieurs centres de rééducation et a déjà montré des bénéfices sur la prise en charge et la réhabilitation des patients ayant souffert d'un AVC, avec notamment des effets positifs sur les capacités motrices, l'équilibre et la marche (54).

Les médecins et autres professionnels paramédicaux restent ouverts à l'utilisation de cette technologie dans la prise en charge des patients présentant des troubles neurodégénératifs. Elle est adaptée à ce profil de patients pour présenter des environnements stables et simples. Elle permet dans le même temps d'avoir une stimulation adaptée, de permettre aux patients de discuter de ce qu'ils ont vu, d'avoir un intérêt pour des activités nouvelles et un sentiment d'accomplissement(55).

Les limites posées par l'usage de cette technologie sont bien évidemment le coût, l'investissement dans la mise en place de cette nouvelle technologie mais également la validité des différents protocoles utilisés dans cette prise en charge(56). De plus, la patientèle est souvent différente en médecine générale

qu'en milieu sportif ou hospitalier avec des personnes âgées, précaires ou peu familiarisées avec le numérique, représentant donc une barrière supplémentaire (connexion internet, capacité d'utilisation, etc...).

Cependant, outre le cadre de la rééducation supervisée en cabinet de kinésithérapie, le développement de programme d'autorééducation à domicile avec la réalité virtuelle immersive ouvre des perspectives intéressantes pour des patients de médecine générale. Cet outil présente des avantages qui pourraient permettre de l'utiliser relativement facilement au domicile, chez des patients familiarisés avec le numérique. Il reste plutôt accessible pour un usage au domicile de par sa taille ou sa disponibilité. Il génère également un engagement du patient, qui est rarement retrouvé lorsqu'il est seul au domicile. De plus, les exercices peuvent être suivis à distance par le kinésithérapeute ou le rééducateur et analysés avec précision, permettant un retour auprès du patient. (57)

Une fois les protocoles mieux décrits et encadrés, nous pourrions espérer que des médecins généralistes soient en capacité de prescrire ce type de protocole rééducatif.

Cette approche pourrait permettre de prolonger les bénéfices de la rééducation au-delà du cabinet surtout dans les régions où l'accès à un kinésithérapeute est souvent difficile. La VR est en plus personnalisable selon les retours et les progrès du patient, pouvant encore plus améliorer son engagement dans une rééducation de longue durée. (36)

Aux Etats-Unis, un programme de rééducation au domicile via la VR a été autorisé par la Food and Drugs Administration (FDA) pour la prise en charge de la lombalgie chronique auprès du laboratoire RelieVRx®. (58) Une autre étude de faisabilité est sortie en 2025, portant sur un programme de VR, non immersive cette fois, sur la rééducation à la suite d'un AVC. Il a été montré que ce type d'approche était faisable et ludique pour le patient. Les bénéfices sur l'équilibre et la marche sont retrouvés dans les deux groupes avec une absence d'effets indésirables majeurs dans le groupe VR et la possibilité de l'utiliser dans les domiciles avec des espaces plus restreints. (59)

Tous ces résultats, bien qu'ils semblent prometteurs, restent toutefois à prendre

avec précaution. En effet, les études restent, pour la plupart, de mauvaise qualité et les différences entre la rééducation standard et la rééducation avec la réalité virtuelle sont peut-être finalement bien plus nuancées.

Par ailleurs, j'ai rencontré plusieurs écueils dans la réalisation de ce type de protocole et même de façon plus large, à l'usage de la réalité virtuelle dans une pratique plus courante et notamment libérale.

La mise en œuvre de la réalité virtuelle est difficile et reste globalement insuffisante dans les structures de soins et cela pose donc des difficultés à son extension (60). Les barrières sont les représentations des professionnels, des patients et des gestionnaires. La majorité des mises en œuvre de la VR dans un cadre de soins est fait de façon isolée, sans forcément de concertation avec les autres secteurs de soins. L'application dans le secteur libéral semble donc encore plus délicate avec des professionnels parfois isolés ou travaillant seulement en petit groupe et dont les moyens financiers sont globalement moindres par rapport à un centre hospitalier. En effet, l'achat d'un casque H'ability est d'environ 9700€ l'unité (avec maintenance et mises à jours compris pendant 2 ans) (61).

Un autre problème régulièrement rencontré et déjà mentionné ici est l'hétérogénéité des protocoles ou l'absence de détails précis concernant les modalités de ces derniers : leur durée, les exercices proposés, les critères mesurés. Les dispositifs sont également variables allant de la réalité virtuelle immersive, à la non-immersive. Cela rend donc toutes comparaisons entre les études délicates et pose le problème d'obtenir un protocole rééducatif reproductible et adapté à la pathologie prise en charge (62).

Applicabilités dans le milieu sportif

L'utilisation de la réalité virtuelle dans le sport prend également son essor. C'est le cas par exemple dans des centres de références comme l'INSEP (institut nationale du sport, de l'expertise et de la performance) avec le programme REVEA.

Il s'agit d'un programme mené par Richard Kulpa qui s'est fixé comme objectif d'utiliser la réalité virtuelle pour optimiser les performances des sportifs aux Jeux

Olympiques de Paris 2024. L'objectif est de répondre à certains enjeux de performances spécifiques à la boxe, au relais 4x100m et à la gymnastique tout en essayant de réduire le risque de blessure. REVEA souhaite devenir un élément complémentaire essentiel dans les entraînements traditionnels afin de mieux répondre aux exigences de la haute performance (63,64).

Dans la boxe, le sportif est mis en opposition face à un adversaire virtuel avec des capteurs aux poignets et aux chevilles. Il travaille sa rapidité et son anticipation sans les risques inhérents au contact avec un véritable adversaire. Les données des mouvements sont également analysables, le nombre de frappes réussies, etc... En 4 x 100m, l'objectif est de venir travailler sur la synchronisation des athlètes pour le passage de relais sans avoir à répéter à de nombreuses reprises les courses avec le passage du témoin. L'athlète est immergé en position de receveur et d'optimiser sa capacité à démarrer la course au bon moment avec des partenaires virtuels. En gymnastique, la réalité virtuelle offre à l'athlète la possibilité d'observer un enchaînement d'éléments dont l'ordre peut être modifié. Cela permettrait de faciliter l'immersion du sportif dans la réalisation d'un mouvement qui n'est pas encore parfaitement maîtrisé avec des avatars ayant leurs caractéristiques physiques.

Le programme a donc permis d'intégrer la réalité virtuelle dans la préparation aux jeux olympiques de ces trois fédérations. Le projet doit toutefois être poursuivi sur plusieurs échéances olympiques et évoluer selon les besoins spécifiques des athlètes et des entraîneurs.

CONCLUSION

Pour conclure, la réalité virtuelle est une technologie innovante qui trouve son essor dans de multiples domaines et notamment dans le domaine du soin. Les applications médicales y sont multiples et sont fréquemment retrouvées dans le domaine rééducatif ou la douleur chronique. On trouve également son utilisation dans le domaine de la performance sportive.

Ce protocole s'inscrit avec le souhait de trouver une prise en charge plus standardisée dans la rééducation des entorses de chevilles, qui sont un traumatisme très fréquent, et également dans une population particulière, que sont les sportifs de haut niveau. Détailler au mieux ce protocole permettrait de tendre donc vers une unification des prises en charge rééducative avec la réalité virtuelle. Si cette dernière s'avérait apporter un avantage, il pourrait y avoir une uniformisation des pratiques.

L'utilisation de la réalité virtuelle en rééducation sportive doit encore être étudiée afin de s'assurer de sa plus-value. Outre son côté ludique qui permet souvent une meilleure implication du patient, si elle s'avère efficace, cela représenterait un outil très intéressant à proposer au sportif. En effet, ces derniers ont une pression de retour au sport plus importante que des sportifs standards et leur rééducation se doit d'être efficace et de qualité.

Par la suite, il pourra être intéressant de regarder le nombre de récurrences entre des sportifs rééduqués de façon standard et ceux ayant eu accès à cette technologie, projetant la réalité virtuelle encore plus loin dans son usage en rééducation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Catonné Y, Khiami F, Depiesse F. Traumatologie en pratique sportive. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2021. (Sport).
2. Bonnes pratiques et prise en charge de l'entorse de cheville – La médecine du sport [Internet]. [cité 29 juill 2025]. Disponible sur: <https://www.lamedecinedusport.com/traumatologie/bonnes-pratiques-et-prise-en-charge-de-lentorse-de-cheville/>
3. Médecine du sport: pour le praticien. 6e éd. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2020. (Collection Pour le praticien).
4. Pa G, Cm B, Bm C, Cl D, F F, Dt F, et al. Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. British journal of sports medicine. déc 2016;50(24). doi:10.1136/bjsports-2016-096189 PubMed PMID: 27259753.
5. Hur ES, Bohl DD, Lee S. Lateral Ligament Instability: Review of Pathology and Diagnosis. Curr Rev Musculoskelet Med. 3 juin 2020;13(4):494-500. doi:10.1007/s12178-020-09641-z PubMed PMID: 32495041; PubMed Central PMCID: PMC7340720.
6. Ahmed A, Mishra P, Patra B, Ravi PK. Lateral Ankle Ligaments: An Insight Into Their Functional Anatomy, Variations, and Surgical Importance. Cureus. 16(2):e53826. doi:10.7759/cureus.53826 PubMed PMID: 38465086; PubMed Central PMCID: PMC10924277.
7. Beckenkamp PR, Lin CWC, Macaskill P, Michaleff ZA, Maher CG, Moseley AM. Diagnostic accuracy of the Ottawa Ankle and Midfoot Rules: a systematic review with meta-analysis. Br J Sports Med. mars 2017;51(6):504-10. doi:10.1136/bjsports-2016-096858 PubMed PMID: 27884861.
8. Guillodo Y, Riban P, Guennoc X, Dubrana F, Saraux A. Usefulness of ultrasonographic detection of talocrural effusion in ankle sprains. J Ultrasound Med. juin 2007;26(6):831-6. doi:10.7863/jum.2007.26.6.831 PubMed PMID: 17526615.
9. Entorse du ligament collatéral latéral (ligament latéral externe) de cheville: diagnostic, rééducation et reprise de l'activité physique et de la pratique sportive.

10. Dubois B, Esculier JF. Soft-tissue injuries simply need PEACE and LOVE. *Br J Sports Med.* janv 2020;54(2):72-3. doi:10.1136/bjsports-2019-101253
11. Jones MH, Amendola AS. Acute treatment of inversion ankle sprains: immobilization versus functional treatment. *Clin Orthop Relat Res.* févr 2007;455:169-72. doi:10.1097/BLO.0b013e31802f5468 PubMed PMID: 17279044.
12. Chen ET, Borg-Stein J, McInnis KC. Ankle Sprains: Evaluation, Rehabilitation, and Prevention. *Curr Sports Med Rep.* juin 2019;18(6):217-23. doi:10.1249/JSR.0000000000000603 PubMed PMID: 31385837.
13. Rivera MJ, Winkelmann ZK, Powden CJ, Games KE. Proprioceptive Training for the Prevention of Ankle Sprains: An Evidence-Based Review. *J Athl Train.* nov 2017;52(11):1065-7. doi:10.4085/1062-6050-52.11.16 PubMed PMID: 29140127; PubMed Central PMCID: PMC5737043.
14. Melanson SW, Shuman VL. Acute Ankle Sprain. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [cité 29 juill 2025]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459212/> PubMed PMID: 29083595.
15. Harvard Health [Internet]. 2007 [cité 29 juill 2025]. Recovering from an ankle sprain. Disponible sur: <https://www.health.harvard.edu/pain/recovering-from-an-ankle-sprain>
16. González-Iñigo S, Munuera-Martínez PV, Lafuente-Sotillos G, Castillo-López JM, Ramos-Ortega J, Domínguez-Maldonado G. Ankle sprain as a work-related accident: status of proprioception after 2 weeks. *PeerJ.* 15 déc 2017;5:e4163. doi:10.7717/peerj.4163
17. Xue X, Zhang Y, Tao W, Wei L, Li Q, Ma T, et al. Longitudinal neuroplasticity after ankle sprain in mice: A voxel-based morphometry study on 11.7T MRI. *J Orthop Res.* juin 2023;41(6):1291-8. doi:10.1002/jor.25458 PubMed PMID: 36203347.
18. Maricot A, Dick E, Walravens A, Pluym B, Lathouwers E, De Pauw K, et al. Brain Neuroplasticity Related to Lateral Ankle Ligamentous Injuries: A Systematic Review. *Sports Med.* juill 2023;53(7):1423-43. doi:10.1007/s40279-023-01834-z PubMed PMID: 37155129.
19. Xie HM, Xing ZT, Chen ZY, Zhang XT, Qiu XJ, Jia ZS, et al. Regional brain atrophy in patients with chronic ankle instability: A voxel-based morphometry

study. Front Neurosci. 15 sept 2022;16:984841. doi:10.3389/fnins.2022.984841 PubMed PMID: 36188473; PubMed Central PMCID: PMC9519998.

20. Université Paris-Saclay [Internet]. 2022 [cité 4 août 2025]. Le développement des réalités augmentée et virtuelle en santé. Disponible sur: <http://www.universite-paris-saclay.fr/actualites/le-developpement-des-realites-augmentee-et-virtuelle-en-sante>

21. L B. L'histoire de la VR en 8 étapes : de la science-fiction à votre salon. REALITE-VIRTUELLE.COM [Internet]. 11 déc 2024 [cité 4 août 2025]. Disponible sur: <https://www.realite-virtuelle.com/histoire-vr-7-etapes-1511/>

22. L'histoire de la réalité virtuelle : Des années 50 à nos jours - IRWINO [Internet]. 16 juill 2024 [cité 4 août 2025]. Disponible sur: <https://www.irwino.com/histoire-de-la-realite-virtuelle/>

23. ber-admin. Quelles différences entre la réalité virtuelle, augmentée et mixte? Hability - Rééducation réalité virtuelle [Internet]. 20 déc 2022 [cité 4 août 2025]. Disponible sur: <https://hability.fr/quelles-differences-entre-la-realite-virtuelle-augmentee-et-mixte/>

24. Levac D, Glegg S, Colquhoun H, Miller P, Noubary F. Virtual Reality and Active Videogame-Based Practice, Learning Needs, and Preferences: A Cross-Canada Survey of Physical Therapists and Occupational Therapists. Games Health J. août 2017;6(4):217-28. doi:10.1089/g4h.2016.0089 PubMed PMID: 28816511.

25. Elaraby AER, Shahien M, Jahan AM, Etoom M, Bekhet AH. The Efficacy of Virtual Reality Training in the Rehabilitation of Orthopedic Ankle Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis. Adv Rehabil Sci Pract. 2023;12:11795727231151636. doi:10.1177/11795727231151636 PubMed PMID: 36891135; PubMed Central PMCID: PMC9933927.

26. Girondini M, Montanaro M, Lega C, Gallace A. Spatial sensorimotor mismatch between the motor command and somatosensory feedback decreases motor cortical excitability. A transcranial magnetic stimulation-virtual reality study. Eur J of Neuroscience. sept 2024;60(6):5348-61. doi:10.1111/ejn.16481

27. Punt IM, Armand S, Ziltener JL, Allet L. Effect of Wii Fit™ exercise therapy on gait parameters in ankle sprain patients: A randomized controlled trial. Gait Posture. oct 2017;58:52-8. doi:10.1016/j.gaitpost.2017.06.284 PubMed PMID:

28735202.

28. Herzog MM, Kerr ZY, Marshall SW, Wikstrom EA. Epidemiology of Ankle Sprains and Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training*. 28 mai 2019;54(6):603-10. doi:10.4085/1062-6050-447-17
29. Y G, T S, A LG, A S. Interest of rehabilitation in healing and preventing recurrence of ankle sprains. *Annals of physical and rehabilitation medicine*. oct 2013;56(7-8). doi:10.1016/j.rehab.2013.06.007 PubMed PMID: 23916816.
30. B X, Hp X, C Y, J T. [Progress on diagnosis and treatment for chronic ankle instability]. *Zhongguo gu shang = China journal of orthopaedics and traumatology*. 25 déc 2016;29(12). doi:10.3969/j.issn.1003-0034.2016.12.020 PubMed PMID: 29292896.
31. Syed F, Ugwuoke A. Ankle arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 28 juin 2018;3(6):391-7. doi:10.1302/2058-5241.3.170029 PubMed PMID: 30034820; PubMed Central PMCID: PMC6026887.
32. Teo JL, Zheng Z, Bird SR. Identifying the factors affecting « patient engagement » in exercise rehabilitation. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 7 févr 2022;14(1):18. doi:10.1186/s13102-022-00407-3 PubMed PMID: 35130940; PubMed Central PMCID: PMC8819209.
33. Gokeler A, McKeon PO, Hoch MC. Shaping the Functional Task Environment in Sports Injury Rehabilitation: A Framework to Integrate Perceptual-Cognitive Training in Rehabilitation. *Athletic Training & Sports Health Care*. nov 2020;12(6):283-92. doi:10.3928/19425864-20201016-01
34. GARCÍA-SÁNCHEZ M, OBRERO-GAITÁN E, LÓPEZ-RUIZ MC, DÍAZ-FERNÁNDEZ Á, OSUNA-PÉREZ MC, CORTÉS-PÉREZ I. Virtual reality-based interventions enhance functional status, balance and muscle strength in patients with ankle instability: a systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Phys Rehabil Med*. 26 août 2025;61(3):551-63. doi:10.23736/S1973-9087.25.08869-0 PubMed PMID: 40856380; PubMed Central PMCID: PMC12410587.
35. Plavoukou T, Staktopoulos P, Papagiannis G, Stasinopoulos D, Georgoudis G. Virtual and Augmented Reality for Chronic Musculoskeletal Rehabilitation: A Systematic Review and Exploratory Meta-Analysis. *Bioengineering (Basel)*. 8 juill 2025;12(7):745. doi:10.3390/bioengineering12070745 PubMed PMID: 40722437; PubMed

Central PMCID: PMC12292062.

36. Chaplin E, Karatzios C, Benaim C. Clinical Applications of Virtual Reality in Musculoskeletal Rehabilitation: A Scoping Review. *Healthcare (Basel)*. 15 déc 2023;11(24):3178. doi:10.3390/healthcare11243178 PubMed PMID: 38132067; PubMed Central PMCID: PMC10742848.
37. Picot B, Terrier R, Forestier N. Le star excursion balance test : mise à jour et recommandations sur son utilisation en pratique. *Mains Libres*. 2018;35(4):9-16. doi:10.55498/MAINSLIBRES.2018.35.4.0009
38. Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, Underwood FB. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *J Orthop Sports Phys Ther*. déc 2006;36(12):911-9. doi:10.2519/jospt.2006.2244 PubMed PMID: 17193868.
39. Stiffler MR, Sanfilippo JL, Brooks MA, Heiderscheit BC. Star Excursion Balance Test Performance Varies by Sport in Healthy Division I Collegiate Athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*. oct 2015;45(10):772-80. doi:10.2519/jospt.2015.5777 PubMed PMID: 26304643.
40. Pierobon A, Raguzzi I, Soliño S, Salzberg S, Vuoto T, Gilgado D, et al. Minimal detectable change and reliability of the star excursion balance test in patients with lateral ankle sprain. *Physiotherapy Research International*. 2020;25(4):e1850. doi:10.1002/pri.1850
41. Picot B, Lopes R, Fourchet F, Hardy A. Développement et validation du premier score objectif de retour au sport après entorse de cheville : l'*Ankle-GO™* score. *Kinésithérapie, la Revue*. 1 avr 2025;25(280):45-8. doi:10.1016/j.kine.2024.12.120
42. Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) pour les kinésithérapeutes [Internet]. [cité 20 juin 2025]. Disponible sur: <https://fullphysio.com/outils-cliniques-et-therapeutiques/cumberland-ankle-instability-tool-cait>
43. Daines R. LibGuides: Statistics Resources: Partial Eta Squared [Internet]. [cité 8 juill 2025]. Disponible sur: <https://resources.nu.edu/statsresources/eta>
44. Martin RL, Davenport TE, Fraser JJ, Sawdon-Bea J, Carcia CR, Carroll LA, et al. Ankle Stability and Movement Coordination Impairments: Lateral Ankle Ligament Sprains Revision. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. avr 2021;51(4):CPG1-80. doi:10.2519/jospt.2021.0302
45. Smith MD, Vicenzino B, Bahr R, Bandholm T, Cooke R, Mendonça LDM,

- et al. Return to sport decisions after an acute lateral ankle sprain injury: introducing the PAASS framework—an international multidisciplinary consensus [Internet]. 1 nov 2021. doi:10.1136/bjsports-2021-104087
46. Zhang Y, Liu Y, Shang T, Jian L, Wang J, Abbott SD, et al. The Reliability and Validity of Star Performer™ a Computerized tool for Quantifying the Star Excursion Balance Test. *Int J Sports Phys Ther.* 20(6):779-92. doi:10.26603/001c.137953 PubMed PMID: 40469646; PubMed Central PMCID: PMC12129633.
47. Yang C, Gao W, Jia Z, Li J, Tang M. Physical therapy versus conventional treatment for grade I and II acute ankle sprains: trial sequential analysis and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 29 sept 2025;20(1):861. doi:10.1186/s13018-025-06272-3 PubMed PMID: 41023742; PubMed Central PMCID: PMC12481793.
48. Gogate N, Satpute K, Hall T. The effectiveness of mobilization with movement on pain, balance and function following acute and sub acute inversion ankle sprain - A randomized, placebo controlled trial. *Phys Ther Sport.* mars 2021;48:91-100. doi:10.1016/j.ptsp.2020.12.016 PubMed PMID: 33401232.
49. Faghihi R, Khanmohammadi R. Comparing virtual reality and balance training effects on postural strategies during ball kicking in soccer players with chronic ankle instability. *Sci Rep.* 28 déc 2024;14(1):31448. doi:10.1038/s41598-024-83071-6
50. Majelan AS, Shahani O, Ghaleh Zo MAS, Arman Far M. A comparative analysis of the effects of proprioception and virtual reality exercises on postural balance in athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 3 juin 2025;26(1):550. doi:10.1186/s12891-025-08823-5 PubMed PMID: 40462014; PubMed Central PMCID: PMC12131431.
51. Paladugu P, Kumar R, Ong J, Waisberg E, Sporn K. Virtual reality-enhanced rehabilitation for improving musculoskeletal function and recovery after trauma. *J Orthop Surg Res.* 23 avr 2025;20:404. doi:10.1186/s13018-025-05705-3 PubMed PMID: 40269873; PubMed Central PMCID: PMC12016257.
52. Goudman L, Jansen J, Billot M, Vets N, Smedt AD, Roulaud M, et al. Virtual Reality Applications in Chronic Pain Management: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Serious Games.* 10 mai 2022;10(2):e34402.

doi:10.2196/34402

53. Amorim P. Virtual Reality in Chronic Pain Rehabilitation: A Systematic Review. Vol. 7. 2025;7(1).
54. Hao J, He Z, Li Y, Huang B, Remis A, Yao Z, et al. Virtual reality-based supportive care interventions for patients with cancer: an umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. Support Care Cancer. 21 août 2024;32(9):603. doi:10.1007/s00520-024-08813-8 PubMed PMID: 39167153.
55. Gokani HA, Sommerlad A, Jawharieh H, Ang CS, Huntley J. Carers and professionals' views on using virtual reality in- dementia care: A qualitative study. Dementia (London). 1 janv 2025;24(1):71-90. doi:10.1177/14713012241272786 PubMed PMID: 39121239; PubMed Central PMCID: PMC7618012.
56. Yondjo J, Siette J. « VR is the future »: perspectives of healthcare professionals on virtual reality as a diagnostic tool for dementia status in primary care. BMC Med Inform Decis Mak. 4 janv 2024;24(1):9. doi:10.1186/s12911-023-02413-y PubMed PMID: 38178165; PubMed Central PMCID: PMC10765843.
57. Nataraj R. Virtual Reality as a Potential Cornerstone for Remote Rehabilitative Therapies. Encyclopedia. févr 2026;6(2):37. doi:10.3390/encyclopedia6020037
58. Now FDA-authorized | RelieVRx [Internet]. [cité 29 juill 2026]. Disponible sur: <https://www.relievr.com>
59. Sheehy L, Taillon-Hobson A, Sveistrup H, Bilodeau M, Yang C, Welch V, et al. Home-Based Nonimmersive Virtual Reality Training After Discharge From Inpatient or Outpatient Stroke Rehabilitation: Parallel Feasibility Randomized Controlled Trial. JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies. 28 mars 2025;12(1):e64729. doi:10.2196/64729
60. Kouijzer MMTE, Kip H, Bouman YHA, Kelders SM. Implementation of virtual reality in healthcare: a scoping review on the implementation process of virtual reality in various healthcare settings. Implement Sci Commun. 16 juin 2023;4(1):67. doi:10.1186/s43058-023-00442-2 PubMed PMID: 37328858; PubMed Central PMCID: PMC10276472.
61. Denes L. H'ability : le casque VR qui ne prend pas la tête. achat-logistique.info [Internet]. 2 mai 2025 [cité 25 mai 2026]. Disponible sur: <https://achat-logistique.info/innovation/hability-le-casque-vr-qui-ne-prend->

pas-la-tete/

62. Astek A, Sparkes V, Sheeran L. Exploring the use of immersive virtual reality in adults with chronic primary pain: A scoping review. DIGITAL HEALTH. 1 sept 2024;10:20552076241254456. doi:10.1177/20552076241254456
63. Laboratoires de recherche de l'INSEP [Internet]. [cité 25 mai 2026]. REVEA. Disponible sur: <https://labos-recherche.insep.fr/fr>
64. Kulpa R. REVEA : vers une nouvelle génération d'outils d'entraînement virtuel dans le sport de haut niveau. *Réflexions Sport*. 15 nov 2024;(32):94-103.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Protocole PEACE & LOVE	15
Figure 2 : Organisation en 3 branches du SEBT modifié pour le pied droit et le pied gauche	25
Figure 3 : Formule pour calculer la distance maximale atteinte, normalisée sur la taille	25
Figure 4 : Formule pour calculer le score composite	26
Figure 5 : Programme avec séances prédéfinies H'Ability	37
Figure 6 : Banque d'exercices H'Ability	37
Figure 7 : Exercice forêt enchantée H'Ability	38
Figure 8 : Exemple de modulation des séances H'Ability	39
Figure 9 : Exercice de football et modulations possibles	40
Figure 10 : Exemple de séances types, déjà programmées	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Critères d'Ottawa selon l'HAS (9), afin d'exclure la probabilité de présenter une fracture de la cheville	14
Tableau II : Calendrier de l'étude	44

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS	
RESUME	10
INTRODUCTION	12
1. L'entorse de la cheville	12
1.1. Anatomie.....	12
1.2. Physiopathologie	13
2. La réalité virtuelle	17
3. Justification de la recherche	20
MÉTHODES	24
1. Objectifs de la recherche et critères d'évaluation	24
1.1. Objectif principal et critères d'évaluation	24
1.2. Objectifs et critères de jugement secondaires	27
2. Conception de la recherche	28
3. Sélection des personnes de la recherche	29
3.1. Critères d'inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche	29
3.2. Critères de non-inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche	29
4. Stratégie et procédure de l'étude	30
4.1. Note contextuelle	30
a. Groupe de rééducation standard.....	31
b. Groupe réalité virtuelle	36
4.2. Intervention dans l'étude	41
4.3. Procédure de comparaison	42
5. Déroulement de la recherche	43
5.1. Recrutement	43
5.2. Procédure d'inclusion	43
5.3. Suivi des personnes se prêtant à la recherche	44
5.4. Arrêt de participation d'une personne se prêtant à la recherche	44
5.5. Durée de la recherche	45
6. Analyse statistique	45
RÉSULTATS ATTENDUS	48
DISCUSSION	51
CONCLUSION	57
BIBLIOGRAPHIE	57
LISTE DES FIGURES	66
LISTE DES TABLEAUX	67
TABLE DES MATIERES.....	68
ANNEXES.....	I

ANNEXES

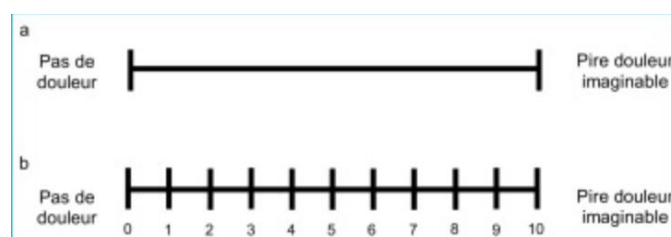
Annexe 1 : Score CAIT

Appendix 2: French version of the Cumberland Ankle Instability Tool

Pour CHAQUE question, merci de cocher LA phrase qui décrit le MIEUX vos chevilles.

	Gauche	Droite	Score
1. J'ai des douleurs à la cheville			
Jamais	☐	☐	5
Quand je fais du sport	☐	☐	4
Quand je cours sur des surfaces irrégulières	☐	☐	3
Quand je cours sur des surfaces planes	☐	☐	2
Quand je marche sur des surfaces irrégulières	☐	☐	1
Quand je marche sur des surface planes	☐	☐	0
2. Ma cheville me semble INSTABLE quand			
Jamais	☐	☐	4
Parfois quand je fais du sport (pas à chaque fois)	☐	☐	3
A chaque fois que je fais du sport	☐	☐	2
Parfois lors d'activités quotidiennes	☐	☐	1
Fréquemment lors d'activités quotidiennes	☐	☐	0
3. Quand je pivote BRUSQUEMENT, j'ai l'impression que ma cheville est INSTABLE			
Jamais	☐	☐	3
Parfois quand je cours	☐	☐	2
Souvent quand je cours	☐	☐	1
Quand je marche	☐	☐	0
4. Quand je descends les escaliers, j'ai l'impression que ma cheville est INSTABLE			
Jamais	☐	☐	3
Si je vais vite	☐	☐	2
Occasionnellement	☐	☐	1
Toujours	☐	☐	0
5. Quand je me tiens sur UNE jambe, j'ai l'impression que ma cheville est INSTABLE			
Jamais	☐	☐	2
Quand je suis sur la pointe du pied	☐	☐	1
Quand j'ai le pied à plat	☐	☐	0
6. J'ai l'impression que ma cheville est INSTABLE quand			
Jamais	☐	☐	3
Je sautille d'un côté à l'autre	☐	☐	2
Je sautille sur place	☐	☐	1
Je saute	☐	☐	0
7. J'ai l'impression que ma cheville est INSTABLE quand			
Jamais	☐	☐	4
Je cours sur des surfaces irrégulières	☐	☐	3
Je trotte sur des surfaces irrégulières	☐	☐	2
Je marche sur des surfaces irrégulières	☐	☐	1
Je marche sur des surfaces planes	☐	☐	0
8. HABITUELLEMENT, quand ma cheville commence à se tordre, je peux l'arrêter			
Immédiatement	☐	☐	3
Souvent	☐	☐	2
Parfois	☐	☐	1
Jamais	☐	☐	0
Je ne me suis jamais tordu la cheville	☐	☐	3
9. Après un incident HABITUEL de torsion de cheville, ma cheville revient à la « normale »			
Presque immédiatement	☐	☐	3
En moins d'une journée	☐	☐	2
En un à deux jours	☐	☐	1
En plus de deux jours	☐	☐	0
Je ne me suis jamais tordu la cheville	☐	☐	3

Annexe 2 : Échelle numérique de la douleur



Annexe 3 : Échelle de confiance dans l'articulation (sur 5 points)

Confiance en l'articulation :

Sur une échelle de 1 à 5, dans les suites de la séance de rééducation, comment situez-vous la confiance que vous avez dans votre cheville :

Je n'ai aucune confiance dans ma cheville	○ 1	○ 2	○ 3	○ 4	○ 5	J'ai totalement confiance dans ma cheville
---	--------	--------	--------	--------	--------	--

Annexe 4 : Questionnaire ALR-RSI

ALR-RSI

(Ankle Ligament Reconstruction - Return to Sport Injury)

Prénom..... Nom.....

Date..... /..... /.....

Date de naissance..... /..... /.....

Merci de répondre aux questions suivantes concernant le sport principal que vous pratiquiez avant l'accident. Pour chaque question, cochez la case entre les deux extrêmes selon ce qui vous paraît correspondre le mieux à la situation actuelle de votre cheville.

1. Pensez-vous pouvoir pratiquer votre sport au même niveau qu'auparavant ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pas du tout sûr ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Totalemt sûr

2. Pensez-vous que vous pourriez vous blesser de nouveau la cheville si vous repreniez le sport ?

Extrêmement 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Pas du tout
probable ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ probable

3. Êtes-vous inquiet à l'idée de reprendre votre sport ?

Extrêmement 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
inquiet ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Pas du tout inquiet

4. Pensez-vous que votre cheville sera stable lors de votre pratique sportive ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pas du tout sûr ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Totalemt sûr

5. Pensez-vous pouvoir pratiquer votre sport sans vous soucier de votre cheville ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pas du tout sûr ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Totalemt sûr

6. Craignez-vous de vous blesser de nouveau la cheville lors de votre pratique sportive ?

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Crainte extrême ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Aucune crainte

7. Êtes-vous frustré de devoir tenir compte de votre cheville lors de votre pratique sportive ?

Extrêmement 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
frustré ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ Pas du tout frustré

8. Pensez-vous que votre cheville peut résister aux contraintes ?

Pas du tout sûr 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalemment sûr

9. Avez-vous peur de vous reblesser accidentellement la cheville lors de votre pratique sportive ?

Très peur 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Pas du tout peur

10. Est-ce que l'idée de devoir éventuellement vous faire réopérer ou rééduquer vous empêche de pratiquer votre sport ?

Tout le temps 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 A aucun moment

11. Etes-vous confiant en votre capacité à bien pratiquer votre sport ?

Pas du tout 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalemment
confiant 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 confiant

12. Vous sentez-vous détendu à l'idée de pratiquer votre sport ?

Pas du tout 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Totalemment
détendu 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 détendu

Score total/1,2 = %

Présentation

Objectif : L'Ankle Ligament Reconstruction - Return to Sport Injury (ALR-RSI) est adaptée du score de l'ACL-RSI où le terme "genou" a été remplacé par le terme "cheville". Cette échelle permet de quantifier l'état de préparation psychologique avant la reprise du sport après une reconstruction du ligament de la cheville.^{2,3}

Description : L'ALR-RSI contient 12 items comprenant : les émotions (5 items), la confiance dans la performance (5 items) et l'évaluation du risque (2 items). Elle s'organise avec un score de Likert en 11 points sous forme de cases à cocher de 0 à 10. Le score total est égal à la somme des 12 réponses, divisé par 1,2 pour obtenir un pourcentage.^{1,2,3}

Interprétation : Le score va de 0% (état de préparation psychologique le plus faible) à 100% (état de préparation psychologique le plus élevé).²

Valeur clinique : L'ALR-RSI est un outil valide et fiable, il présente une reproductibilité considérée comme excellente (ICC = 0,92) et une excellente cohérence interne avec un alpha de Cronbach de 0,96.³ La version française a été validée en 2022. Cette version possède une cohérence interne excellente avec un alfa de Cronbach de 0,94 et une reproductibilité excellente (ICC = 0,97).¹ Une combinaison des questionnaires FAAM et ALR-RSI serait le plus pertinent pour évaluer la fonction des patients dans le contexte de l'instabilité chronique de cheville.⁴

Matériel nécessaire : Aucun

Temps nécessaire : Environ 2 minutes¹

Bibliographie :

- 1- Ajaka Nahi, Pierre-Alban Bouché, Michel Dagher, Ronny Lopes, Thomas Bauer, et Alexandre Hardy. « The French Ankle Ligament Reconstruction - Return to Sport after Injury (ALR-RSI-Fr) is a valid scale for the French population ». *Journal of Experimental Orthopaedics* 9, n° 1 (21 mars 2022): 27.
- 2- Pioger Charles, Stéphane Guillo, Bouché Pierre-Alban, François Sigonney, Marc Elkaim, Tera Bauer, et Alexandre Hardy. « The ALR-RSI score is a valid and reproducible scale to assess psychological readiness before returning to sport after modified Broström-Gould procedure ». *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 30 (25 janvier 2022).
- 3- Sigonney François, Ronny Lopes, Bouché Pierre-Alban, Elliott Kierszbaum, Aymane Moslemi, Philippe Anract, Alexandra Stein, et Alexandre Hardy. « The ankle ligament reconstruction-return to sport after injury (ALR-RSI) is a valid and reproducible scale to quantify psychological readiness before returning to sport after ankle ligament reconstruction ». *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 28 (30 avril 2020).
- 4- Picot Brice, Alexandre Hardy, Romain Terrier, Bruno Tassignon, Ronny Lopes, et François Fourchet. « Which Functional Tests and Self-Reported Questionnaires Can Help Clinicians Make Valid Return to Sport Decisions in Patients With Chronic Ankle Instability? A Narrative Review and Expert Opinion ». *Frontiers in Sports and Active Living* 4 (1 mai 2022): 902886.

Annexe 5 : GUIDE-Rehab, Guidelines for Intervention DDescription in Rehabilitation

Table 1 The GUIDE-Rehab reporting guideline. All items are numbered consecutively. The short form and the uncontrolled studies versions exclude some items according to what reported in the footnotes. For further details and explanations, see online supplemental appendix 1. All the items of GUIDE-Rehab focus only on the description of the intervention. These items should be integrated into the appropriate reporting guideline for specific study designs

Number	Item
Abstract and Introduction section	
1	<u>Intervention type</u> In the abstract, introduction and, if possible, in the title, identification of the studied intervention as one of the following types: rehabilitation programme, intervention for rehabilitation.
Material and Methods section	
2	<u>Intervention theory</u> Brief description (or reference) of the theory/theories on which the studied intervention is based.
3	<u>Intervention targets</u> Description of the different targets of the studied intervention.
4	<u>Intervention components</u> Description of the intervention components used to address each intervention target.
5°	<u>Components theory</u> Description of the rationale for how the intervention components would change each intervention target.
6°	<u>Intervention ingredients and quantity</u> Description of the intervention ingredients concerning each of the following attributes (where they are relevant to the intervention theory): materials, procedures, personnel, mode of delivery, context and team factors. Description of the quantity of the intervention ingredients in units relevant to their hypothesised mechanisms of action.
7°	<u>Tailoring</u> If tailored, description of the participant assessments involved in determining the amount of each tailored intervention ingredient and how the assessment will determine the quantity of that ingredient. Provide an algorithm, if available.
8°	<u>Quantity changes</u> If the ingredient quantities in the intervention change over time, description of the participant assessment or measurement that triggers the progression and the algorithm that specifies the change in ingredients.
9°	<u>Treatment fidelity (a) optimisation and (b) assessment</u> Description of what is done to ensure the delivery of ingredients intrinsic to the intervention's effects. If relevant, a description of necessary instructional and motivational ingredients needed to achieve fidelity. Description of how you measured the delivery of ingredients intrinsic to the intervention's effects and necessary instructional and motivational ingredients needed to achieve fidelity (if relevant).
10*	<u>Comparator rationale</u> Description of the rationale for the selection of the comparator.
11*	<u>Comparator description</u> Description of the comparison intervention, following items one to nine, focusing on the ingredients that may overlap with those in the experimental intervention.
12*	<u>Sham comparator</u> If the comparison is a sham, description of which intervention ingredients are excluded.
13	<u>Background treatment</u> Description of background treatment(s) focusing particularly on their active ingredients or ingredients that may interact with intervention ingredients.
Results section	
14	<u>Modifications and fidelity</u> If the study intervention was modified during the study, a description of the changes concerning the categories relevant to the original intervention components and the rationale for the modification. Description of the findings related to treatment fidelity assessment.
Discussion section	
15	<u>Comparator, background treatment and daily activities</u> Value and meaning of results according to the chosen comparator. Possible interactions of the background treatment(s) with the intervention and the comparator. Description of other daily activities autonomously performed by participants that could change the effect of one or more intervention components.
16°	<u>Implementation</u> For approaches nearing the point of clinical adoption, discuss possible factors influencing implementation (barriers and facilitators).

*Not included in the uncontrolled studies version because not applicable to studies without a comparison group.

°These items could be reported in the appendices if the short form version is applied.

GUIDE-Rehab, GUIDeline for Intervention DDescription in Rehabilitation; SF, short form; U, uncontrolled studies version.

Protocole de recherche : Intérêt de l'utilisation de la réalité virtuelle dans les entorses aiguës du plan latéral de cheville chez les athlètes professionnels et semi-professionnels

RÉSUMÉ

L'entorse de cheville est une pathologie fréquente en population générale et chez le sportif professionnel. Elle pose le problème d'une rééducation parfois mal réalisée et entraînant des douleurs et de l'instabilité sur le long terme. La réalité virtuelle est une technologie en plein essor et se positionne comme un complément rééducatif intéressant à la rééducation standard notamment sur le plan proprioceptif.

L'objectif de ce protocole est de recruter des sportifs professionnels, pratiquant surtout des sports collectifs, ayant subi un traumatisme du plan latéral de la cheville et de les répartir en 2 groupes : un groupe rééducation standard et un groupe réalité virtuelle où la séance de rééducation se termine par 15 minutes d'exercices avec le casque H'ability.

Un test SEBT sera réalisé à 0 et 4 semaines de rééducation puis par un Ankle-Go-test à la 8^{ème} et dernière semaine de rééducation. Une analyse de variance sera effectuée afin de rechercher une divergence de progression entre les 2 groupes et un test de Student sera réalisé à la fin de la rééducation afin de rechercher une supériorité ou non de l'un des 2 groupes.

Les résultats attendus sont surtout une amélioration de la stabilité et un investissement plus important du patient dans le groupe réalité virtuelle, de par le côté ludique de l'intervention. Si l'on peut mettre en évidence une rééducation plus rapide dans le groupe VR, bien que les résultats finaux soient identiques, cela pourrait modifier les protocoles de rééducation chez ce profil de patients.

L'objectif à terme, si les résultats sont satisfaisants, est de proposer un protocole qui puisse être standardisé en kinésithérapie.

Mots-clés : Entorse de cheville ; réalité virtuelle ; rééducation ; athlète ; proprioception

Research Protocol: The Value of Virtual Reality in Lateral Ankle Sprains Among Professional and Semi-Professional Athletes

ABSTRACT

Ankle sprain is a common condition in the general population and among professional athletes. It raises the issue of rehabilitation that is sometimes poorly conducted, leading to long-term pain and instability. Virtual reality is a rapidly growing technology and is emerging as a valuable complement to standard rehabilitation, particularly in terms of proprioceptive training.

The aim of this protocol is to recruit professional athletes — primarily those practicing team sports — who have sustained a lateral ankle injury, and to divide them into 2 groups: a standard rehabilitation group and a virtual reality group, in which each rehabilitation session concludes with 15 minutes of exercises using the H'ability headset. A SEBT (Star Excursion Balance Test) will be conducted at 0 and 4 weeks of rehabilitation, followed by an Ankle-Go Test at the 8th and final week of rehabilitation. A variance analysis will be performed to identify any divergence in progress between the two groups, and a Student's t-test will be carried out at the end of rehabilitation to determine whether one group shows superiority over the other.

The expected outcomes primarily involve greater stability and patient engagement in the virtual reality group, due to the interactive and enjoyable nature of the intervention. If a faster recovery can be demonstrated in the virtual reality group — even if the final outcomes are identical — this could lead to modifications in rehabilitation protocols for this patient profile.

The long-term objective, should the results prove satisfactory, is to propose a protocol that can be standardised in physiotherapy practice.

Keywords : Ankle sprain ; rehabilitation ; virtual reality ; professional athletes