

Résumé : La rupture du ligament croisé antérieur est une lésion récurrente chez les joueurs de football. Cette lésion est décrite lors de traumatismes indirects lors de changements de directions impliquant une rotation interne ou externe tibial, d'hyperextension du genou, et de flexion violente. De ce fait, après une reconstruction du ligament croisé antérieur, des dysfonctionnements dans l'appareil locomoteur apparaissent, ainsi qu'un trouble de la stabilité. Des thérapies conventionnelles, tel que le guide pratique de réhabilitation de Melbourne est utilisé par les kinésithérapeutes actuels, mais restent insuffisants. La réalité virtuelle adaptée à la réhabilitation peut induire des changements dans la capacité du cerveau à se réorganiser, ainsi que dans la connectivité neuronale. Après la chirurgie la biomécanique du genou est atteinte. L'utilisation de stimuli somato-sensoriel, adapté à la rééducation favorise la correction de déséquilibres musculaire, ainsi, l'élaboration d'un programme sensorimoteur adapté, induit l'amélioration de la biomécanique du genou.

Objectif : Démontrer qu'un programme de réalité virtuel associé à des stimuli somato-sensoriel est plus efficace au cours de la réhabilitation lors de la récupération de la neuroplasticité et la proprioception qu'un programme de kinésithérapie conventionnel suivant le guide Melbourne chez les footballeurs amateurs ou semi-professionnel de sexe masculin ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

Méthodologie : Conception d'un essai contrôlé randomisé sur 12 semaines portant sur 34 footballeurs amateurs ou semi-professionnel, divisé en deux groupes de 17 sujets, entre 18 et 35 ans ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur. L'étude se compose d'un groupe expérimental, suivant une réhabilitation du ligament croisé antérieur, via l'utilisation de la réalité virtuelle, ainsi que l'application de stimuli somato-sensoriel. Le deuxième groupe, dit contrôle, suivra une réhabilitation du ligament croisé antérieur via le guide clinique Melbourne. Ainsi la proprioception, la neuroplasticité, la F des membres inférieur, la douleur et le niveau de kinsésiophobie seront mesurées lors de semaines suivantes : 0 ;6 ;12 et 16 -ème.

Mots clés : Footballeur, homme, reconstruction du ligament croisé antérieur, réalité virtuelle, stimuli somato-sensoriel, proprioception, neuroplasticité.

Abstract : Anterior cruciate ligament rupture is a recurring injury among football players. This injury is described as occurring during indirect trauma when changing direction involving internal or external tibial rotation, knee hyperextension, and violent

flexion. As a result, after anterior cruciate ligament reconstruction, dysfunctions in the musculoskeletal system appear, as well as stability issues. Conventional therapies, such as the practical rehabilitation guide used by physiotherapists today, remain insufficient. Virtual reality adapted to rehabilitation can induce changes in the brain's ability to reorganise itself, as well as in neural connectivity. After surgery, the biomechanics of the knee are affected. The use of somatosensory stimuli, adapted to rehabilitation, promotes the correction of muscle imbalances, and the development of an adapted sensorimotor programme leads to an improvement in the biomechanics of the knee.

Objective : To demonstrate that a virtual reality programme combined with somatosensory stimuli is more effective during rehabilitation in restoring neuroplasticity and proprioception than a conventional physiotherapy programme following the Melbourne guidelines in male amateur or semi-professional footballers who have undergone anterior cruciate ligament reconstruction.

Methodology : Design of a 12-week randomised controlled trial involving 34 amateur or semi-professional footballers, divided into two groups of 17 subjects, aged between 18 and 35, who had undergone anterior cruciate ligament reconstruction. The study consists of an experimental group undergoing anterior cruciate ligament rehabilitation using virtual reality and somatosensory stimuli. The second group, known as the control group, will undergo anterior cruciate ligament rehabilitation using the Melbourne Clinical Guide. Proprioception, neuroplasticity, lower limb strength, pain and kinesiophobia levels will be measured at weeks 0, 6, 12 and 16.

Keywords : Footballer, male, anterior cruciate ligament reconstruction, virtual reality, somatosensory stimuli, proprioception, neuroplasticity.

Resumen : La rotura del ligamento cruzado anterior es una lesión recurrente en los futbolistas. Esta lesión se describe en traumatismos indirectos durante cambios de dirección que implican una rotación tibial interna o externa, hiperextensión de la rodilla

y flexión violenta. Por ello, tras una reconstrucción del ligamento cruzado anterior, aparecen disfunciones en el aparato locomotor, así como trastornos de estabilidad. Las terapias convencionales, como la guía práctica de rehabilitación utilizada actualmente por los fisioterapeutas, siguen siendo insuficientes. La realidad virtual adaptada a la rehabilitación puede provocar cambios en la capacidad del cerebro para reorganizarse, así como en la conectividad neuronal. Después de la cirugía, la biomecánica de la rodilla se ve afectada. El uso de estímulos somatosensoriales, adaptados a la rehabilitación, favorece la corrección de los desequilibrios musculares, por lo que la elaboración de un programa sensoriomotor adaptado induce la mejora de la biomecánica de la rodilla.

Objetivo : Demostrar que un programa de realidad virtual asociado a estímulos somatosensoriales es más eficaz durante la rehabilitación en la recuperación de la neuroplasticidad y la propiocepción que un programa de fisioterapia convencional según la guía de Melbourne en futbolistas aficionados o semiprofesionales de sexo masculino que se han sometido a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Metodología : Diseño de un ensayo controlado aleatorio de 12 semanas de duración con 34 futbolistas aficionados o semiprofesionales, divididos en dos grupos de 17 sujetos, de entre 18 y 35 años, que se han sometido a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. El estudio se compone de un grupo experimental, que sigue una rehabilitación del ligamento cruzado anterior mediante el uso de la realidad virtual y la aplicación de estímulos somatosensoriales. El segundo grupo, denominado grupo de control, seguirá una rehabilitación del ligamento cruzado anterior mediante la guía clínica de Melbourne. Así, la propiocepción, la neuroplasticidad, la fuerza de las extremidades inferiores, el dolor y el nivel de kinesiophobia se medirán durante las semanas siguientes: 0, 6, 12 y 16.

Palabras clave: futbolista, hombre, reconstrucción del ligamento cruzado anterior, realidad virtual, estímulos somatosensoriales, propiocepción, neuroplasticidad.

Lexique des abréviations :

ACLR : Reconstruction du ligament croisé antérieur

AVQ : Activités de la vie quotidienne

EMG : Électromyogramme

F : Force

JPS : Test de sens de la position articulaire / Joint position Sense test

LCA : Ligament croisé antérieur

NP : Neuroplasticité

PP : Proprioception

PM : Fascicules postéro latéral

ROM : Amplitude du mouvement articulaire

RNP : Récolte Neuroplasticité

RP : Récolte Proprioception

SMT ou TMS : Stimulation magnétique transcrânienne

SNC : Système nerveux central

SNP : Système nerveux périphérique

TSK : Tampa Scale for Kinesiophobia

UEM : Université Européenne de Madrid

VR : Réalité virtuelle

YTB : Y balance test

Table des matières :

I – INTRODUCTION.....	1
1. ANATOMIE ET BIOMECANIQUE.....	1
2. PATHOLOGIE.....	1
3. ÉPIDEMIOLOGIE.....	1
4. STIMULI SOMATO-SENSORIEL.....	2
5. PROPRIOCEPTION.....	3
6. REALITE VIRTUELLE ET NEUROPLASTICITE.....	3
II – JUSTIFICATION.....	5
III – HYPOTHÈSE.....	6
1. HYPOTHÈSE CONCEPTUELLE.....	6
2. HYPOTHÈSE ALTERNATIVE.....	7
3. HYPOTHÈSE NULLE.....	7
IV – OBJECTIF.....	7
1. OBJECTIF GÉNÉRAL.....	7
2. OBJECTIFS SPÉCIFIQUES.....	7
V – MÉTHODOLOGIE.....	8
1. CONCEPTION.....	8
2. SUJETS DE L'ÉTUDE.....	8
3. ÉCHANTILLONNAGE.....	9
4. GROUPES.....	10
5. VARIABLES.....	10
6. DESCRIPTION DE L'INTERVENTION.....	11
6.1. Groupe expérimental A.....	12
6.2. Groupe expérimental B.....	12
7. COLLECTE DES DONNÉES.....	13
8. ANALYSE DE L'ÉTUDE.....	17
9. LIMITATION DE L'ÉTUDE.....	18
10. ÉQUIPE DE RECHERCHE.....	19
VI - PLAN D'ACTION D'ÉTUDE.....	19

1. ÉTAPES DE DÉROULEMENT ET RÉPARTITION DES TÂCHES DE L'ÉQUIPE.....	20
2. LIEU DE COLLECTE.....	20
3. DURABILITÉ.....	20
VII – BIBLIOGRAPHIE.....	21
VIII – ANNEXE.....	26
1. CONSENTEMENT ECLAIRE.....	26
2. PROSPECTUS DE RECRUTEMENT.....	38
3. MATERIEL REALITE VIRTUEL OCULUS.....	39
4. LOGICIELS REALITE VIRTUEL.....	40
5. RESUME DU PROTOCOLE D'INTERVENTION ET DE LA COLLECTE DES DONNEES.....	43
6. PHOTO DES EXERCICES EN REALITE VIRTUEL : GROUPE A.....	44
7. PHOTO DES EXERCICES : GROUPE B.....	56
8. JOINT POSITION SENSE TEST.....	67
9. QUESTIONNAIRE NEUROPLASTICITE SELON UNE ECHELLE LIKERT.....	68
10. TAMPA SCALE FOR KINESIOPHOBIA.....	71
11. NUMERIC PAIN RATING SCALE.....	73
12. QUESTIONNAIRE MCGILL SUR LA DOULEUR VERSION ABREGE.....	74
13. GOOGLE FORMS.....	76

Introduction

1. Anatomie et biomécanique :

Le ligament croisé antérieur (LCA) comporte deux fascicules. Ces fascicules s'origine au fémur, et s'insèrent au tibia. (1,2) L'origine fémoral des deux fascicules se situe dans la région postérieure et latérale de la fosse inter condylienne, adjacente à la ligne inter condylienne, et s'étend le long de la limite ostéochondrale du fémur. La fonction principale du LCA est donc d'apporter une stabilité antérieure et de rotation durant le moment de flexion du genou. (1)

2. PATHOLOGIE :

Le LCA est un ligament stabilisateur fondamental dans les sports impliquant des changements de directions, notamment le football (3). Les sports impliquant des mouvements de pivot, sont considérés à risque pour les blessures du LCA, ce risque élevé s'explique par les contraintes axiales et de torsion importantes exercées sur l'articulation du genou lors d'actions spécifiques au jeu, tels que les changements de direction brusques, les décélérations rapides ou les réceptions après un saut (4). Une lésion du LCA peut aussi apparaître avec une flexion brutale du genou et une hyperextension (1). Des asymétries dans le contrôle moteur lors d'une activité physique et quotidienne apparaissent systématiquement après une lésion du LCA. Les altérations motrices sont directement liées à un risque accru de récidive du LCA.

3. ÉPIDÉMIOLOGIE :

Chez les footballeurs, cette blessure a un impact significatif, entraînant une absence moyenne de 9 à 12 mois. Seul 65 % des joueurs blessés retrouvent leur niveau de performance précédent la blessure trois ans après la lésion (4). A la suite d'une reconstruction chirurgicale du LCA (ACLR), des études ont constaté que 81% des athlètes pratiquent à nouveau du sport, et 55% sont revenus à titre compétitif (5). Une

étude cas-témoins rétrospective a suivi 1661 joueurs de football dix ans après avoir subi une ACLR. Il a été constaté sur 684 répondants, que seulement 51% des joueurs sont retournés à leur pratique. Les causes étant liées à une instabilité et une douleur toujours présente, et une peur chez l'athlète d'une récidive. Les joueurs qui sont retournés au football avaient un risque significativement plus élevé de souffrir à nouveau d'une lésion du LCA. En effet, 28,7% des joueurs ayant repris le football après une ACLR, ont souffert d'une récidive du LCA. Le risque élevé de subir une récidive du LCA est un point fondamental dans la prise en charge d'un athlète tout au long de sa réhabilitation (6). La rupture du LCA est environ dix fois supérieure à celle du ligament croisé postérieur, et représente 20% des lésions associées au genou. Ainsi, elle est la lésion la plus fréquente du genou. 70% des lésions du LCA apparaissent entre 15 et 45 ans et, il a été observé que cette lésion est plus fréquente chez les femmes. Pour évaluer une lésion du LCA le test du tiroir antérieur peut-être effectué, à noter qu'il peut être négatif dans le cas où il y aurait une contraction du muscle ischio-tibiaux (1).

4. STIMULUS SOMATOSENSORIEL

Lors d'une lésion du LCA, la proprioception (PP) du genou est atteinte. Des chercheurs ont donc décidé d'introduire une approche en se basant sur les mécanismes du système somatosensoriel, via l'intervention de la plasticité intermodale permettant de contrôler les voies sensorielles de l'entrée des voies nerveuses liées à la douleur et de l'entrée des voies se chargeant de la pression ou vibration : principe de « Gate-control ». Ils ont constaté une différence significative dans l'amélioration de la biomécanique du genou chez les patients atteints d'une rupture LCA avec une bande active associée à des stimulations cutanées vibrationnelles intermittentes (7). Afin d'assurer un programme moteur correct dans le système nerveux central (SNC), il est intéressant de procéder à un entraînement sensorimoteur, correspondant à une entrée accélérée de stimuli proprioceptifs et somatosensoriels permettant une correction du déséquilibre musculaire. Lors des perturbations externes, le SNC perçoit et incorpore les informations motrices et sensorielles dans le but d'obtenir des mouvements adaptés pour y répondre : nous parlons « d'intégration sensori-motrice ». L'apprentissage de

mouvements spécifique découle de l'interaction réciproque des différents systèmes moteurs et sensoriels. Une activité simultanée de ces deux systèmes favorise la neuroplasticité (NP) ainsi qu'une amélioration nette des entrées motrices et sensorielles dans les centres d'intégration. Un processus qui donne l'opportunité de sentir son propre corps et notre environnement dans l'objectif de se former au mouvement (8).

5. PROPRIOCEPTION

La PP correspond à l'information afférente générée par les propriocepteurs, qui inclut la perception des mouvements (kinesthésie), la position statique des articulations, la F ou la tension exercée. Les principaux éléments impliqués dans la PP sont les mécanorécepteurs, les fuseaux neuro-musculaires et les organes tendineux de Golgi, qui détectent les stimuli et transforment l'énergie mécanique en un signal électrique sous forme de potentiel d'action. Ces informations sont ensuite envoyées aux nerfs afférents et transmises au SNC. Le test de sens de la position articulaire (JPS) est une méthode fréquemment utilisée pour évaluer la PP après une ACLR. Ce test peut être effectué en utilisant une reproduction active ou passive de la position articulaire (9).

6. RÉALITÉ VIRTUELLE ET NEUROPLASTICITÉ

La réalité virtuelle (VR) a connu un essor exponentiel dans le milieu des hautes technologies qui a bouleversé la vision dans différents domaines dont celui de la santé, notamment concernant la gestion de douleur (10, 11). La VR immersive est une bonne alternative dans la prise en charge d'une rupture du LCA. Elle comporte deux composantes non négligeables : La "présence" du fait de la notion du sentiment d'appartenance à une VR qui représente un outil de distraction pour les patients sur leurs douleurs et « l'immersion » avec des écrans tridimensionnelle à 360° permettant également des interactions plus réalistes avec l'environnement. Il est préférable pour maximiser l'immersion, l'option tridimensionnelle (IVR) néanmoins il est possible, à plus faible coût de projeter des environnements bidimensionnels cependant l'immersion

sera grandement affectée (9,12). À travers la VR et les interactions entre le cerveau-ordinateurs, il y a une modulation des entrées sensorielles et par conséquent un impact sur la mémoire, le contrôle moteur et la perception. En réponse à l'expérience et l'apprentissage accumulés avec les deux systèmes cités ci-dessus, le cerveau des patients aura tendance à se réorganiser grâce à des nouveaux circuits neuronaux, ce phénomène est connu sous le nom de la NP (13). L'apparition de la VR est un atout majeur concernant ses implications dans les processus neuro-plastiques. L'adaptation de la VR dans un processus de réadaptation permet de solliciter des mécanismes de rétroaction sensoriel, les connectivités neuronales, divers processus d'apprentissage moteur et des fonctions cognitives. Ces effets mettent en évidence l'intervention thérapeutique de la VR sur les adaptations synaptiques et la réorganisation neuronale. La VR peut jouer un rôle clé dans la récupération motrice, la réadaptation cognitive et la résilience émotionnelle. Une lésion du LCA est considérée comme étant le fruit d'un dysfonctionnement neurophysiologique et non uniquement comme un simple trouble musculosquelettique périphérique (14). La plasticité neuronale est « la capacité du système nerveux à changer son activité en réponse à des stimuli intrinsèques ou extrinsèques en réorganisant sa structure, ses fonctions ou ses connexions ». Deux mécanismes sont décrits : La « régénération neuronal » regroupant les processus de neurogenèse et de plasticité synaptique et la « réorganisation fonctionnelle » regroupant la viciation, la diaschisis et l'équipotentialité. A noter que la NP peut être bénéfique avec la restauration de la fonction, neutre avec aucun changement, ou négative en aggravant la pathologie. Elle est influencée par l'environnement, les exercices, le milieu extérieur, les tâches, la motivation, les répétitions et les neuromodulateurs (15). La plasticité synaptique correspond à un mécanisme de cellules neuronales clés, étroitement lié aux fonctions de mémorisation, d'apprentissage et d'affinement des circuits neuronaux tout au long de notre développement. Cette plasticité synaptique dépend spécifiquement de changements structurels, car il a été démontré que « les modifications de la morphologie des épines dendritiques » avec un rétrécissement/élargissement et la densité des épines jouent un facteur dans les modifications sur le long terme des synapses et par conséquent la NP (16). La VR regroupe de nombreux mécanismes comme le remodelage

dendritique, la plasticité synaptique ou les changements dans la connectivité neuronale permettant la capacité au cerveau de se réorganiser. L'étude de la NP avec la VR peut offrir des environnements personnalisés aux patients et de ce fait provoquer des stimuli plus intenses avec des demandes cognitives amplifiées (13). Les facteurs psychologiques du sportif concernant son appréhension au retour au sport coïncident avec des adaptations neurologiques du système nerveux périphérique (SNP) et par conséquent la NP joue un rôle dans le système cortico-limbique, qui est lié aux émotions. Effectivement dans une étude cas-témoin de 2021, les participants ayant subi une ACLR ont présenté une plus grande activation dans le cervelet et les régions occipitales inférieur lorsqu'ils ont été confronté à des images en relation avec des activités sportives. L'anxiété et l'appréhension durant les activités de la vie quotidienne (AVQ) impactent potentiellement une NP mal adaptée. La NP voit le jour à cause de la perturbation du retour sensoriel au niveau de la lésion vers l'encéphale. Il a été démontré pour les athlètes ayant eu recours à une ACLR, une augmentation de l'activation dans le gyrus lingual, l'aire somato-sensorielle secondaire ipsilatéral et le cortex moteur controlatéral pendant une tâche de flexion-extension du genou (17).

II-JUSTIFICATION :

La fréquence des lésions du LCA de cesse d'augmenter, lié à une pratique sportive intensive (18). Les programmes de réhabilitation mis en place aujourd'hui pour la rééducation des schémas moteur et le contrôle moteur restent insuffisants. Les altérations motrices sont directement liées à un risque accru de récidive du LCA. Compte tenu des déficits persistants de contrôle neuromusculaire, la réadaptation traditionnelle ne permet pas de restaurer une fonction motrice normale chez tous les patients après une rupture du LCA. Les programmes de kinésithérapie actuels, comprennent uniquement une série d'exercice focalisé sur la force (F) et l'endurance musculaire tout en prenant en compte une certaine fonction neuromusculaire (5). L'ACLR est le traitement le plus réalisé, afin de rétablir la fonction biomécanique et les capacités neurosensorielle du genou. L'approche chirurgical a prouvé un impact positif chez les patients, mais il a été observé que la récupération du contrôle

neuromusculaire, la stabilité dynamique du genou et la récupération du niveau sportif initial reste insuffisant (19). Les techniques de reconstruction avec conservation de tissus ligamenteux résiduel, favorisent la récupération de la PP, de la revascularisation, augmente la stabilité post chirurgical du ligament réparé ou reconstruit. Une meilleure régulation de la fonction neuromusculaire est possible grâce à la préservation des signaux neurosensoriels intacts au niveau du cortex sensoriel cérébral. Cela pourrait ainsi contribuer à un rééquilibrage plus efficace des interactions neuromusculaires entre la hanche, le genou et la cheville (19). L'immersion totale permet au patient de donner un sentiment de connexion plus puissant avec son environnement (20) Les programmes de réhabilitation standards après une ACLR, consiste en plusieurs paramètres tel que le travail de la PP, le renforcement musculaire des ischios-jambier le travail de l'amplitude du mouvement articulaire (ROM), et comme objectif principal : le retour rapide aux AVQ normal et au sport. De nombreuses asymétries post traitement conventionnel, à la suite d'une ACLR ont pu être analysées, lors d'un saut, à l'atterrissement, le chargement ainsi que les mouvements de coordinations entre les deux jambes. Il y a été observé des changements fonctionnels, maintenus plusieurs années après la chirurgie et la réhabilitation. C'est pourquoi une attention particulière doit être accordée lors de la réhabilitation, afin de préserver une charge normale, maintenir un contrôle moteur optimal, une bonne PP, éviter des récidives, ainsi qu'une bonne prévention des blessures (21).

III-HYPOTHÈSES

1.Hypothèse conceptuelle :

Un programme combiné de réhabilitation et stimulation somatosensorielle avec la réalité virtuelle permet une amélioration plus importante, par rapport à un traitement de kinésithérapie conventionnelle, sur les mécanismes neuroplastique et la proprioception chez les jeunes footballeurs, ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

2. Hypothèse alternative (H1) :

Un programme combiné de réhabilitation et stimulation somatosensorielle avec la réalité virtuelle permet une amélioration statistiquement significative, par rapport à un traitement de kinésithérapie conventionnelle, sur les mécanismes neuroplastiques et la proprioception chez les jeunes footballeurs, ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

3. Hypothèse nulle (H0) :

Un programme combiné de réhabilitation et stimulation somatosensorielle avec la réalité virtuelle ne permet pas une amélioration statistiquement significative, par rapport à un traitement de kinésithérapie conventionnelle, sur les mécanismes neuroplastiques et proprioceptifs chez les jeunes footballeurs, ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

IV-Objectifs

1. Objectifs général :

- Comparer l'efficacité d'un programme de réhabilitation incorporant la réalité virtuelle avec des stimuli somatosensoriel sur la neuroplasticité et la proprioception par rapport à une réhabilitation de kinésithérapie conventionnelle chez les footballeurs l'ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

2. Objectifs Spécifiques :

- Comparer l'efficacité d'un programme de réhabilitation incorporant la réalité virtuelle avec des stimuli somatosensoriel sur la neuroplasticité et la proprioception en prenant en considération la douleur du genou par rapport à une réhabilitation de kinésithérapie conventionnelle chez les footballeurs ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.
- Comparer l'efficacité d'un programme de réhabilitation incorporant la réalité virtuelle avec des stimuli somatosensoriel sur la neuroplasticité et la proprioception en prenant en considération la force des membres inférieurs par rapport à une

réhabilitation de kinésithérapie conventionnelle chez les footballeurs l'ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

- Comparer l'efficacité d'un programme de réhabilitation incorporant la réalité virtuelle avec des stimuli somatosensoriel sur la neuroplasticité et la proprioception en prenant en considération le niveau de kinésiophobie par rapport à une réhabilitation de kinésithérapie conventionnelle chez les footballeurs ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur.

V- Méthodologie

1. Conception

Cet essai clinique randomisé se comporte en simple insu, le statisticien, neurologue et le masseur kinésithérapeute évaluateur seront en aveugle. Cette étude évalue les effets d'un programme de réhabilitation associé à la VR, ainsi que des stimuli somatosensoriel par apports à un traitement de kinésithérapie conventionnel, sur la PP et la NP chez les footballeurs ayant subi une ACLR. Pour la conception, il a été utilisé les critères du guide CONSORT, et le guide SPIRIT pour le protocole de l'étude. Cette recherche est expérimentale, car il y a plusieurs variables et causalités utilisées. Avec un aveuglement, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de répartitions fixes entre les groupes expérimental et témoins, et donc que l'évaluation se fera à l'aveugle, afin d'avoir des résultats plus objectifs et réduire le risque de biais par l'évaluateur.

2. Sujets de l'étude

Les participants de l'étude devront préalablement donner leur accord au près d'un formulaire de consentement éclairé valide, (Annexe 1), après explication des objectifs et des potentiels risques. Le recrutement pourra se faire via les évènements sportifs et les prospectus (Annexe 2). L'étude respecte les déclarations d'Helsinki regroupant les principes éthiques dédiés à la recherche des être humains. La population ciblée de l'études sera des joueurs de football âgés entre 18 à 35 ans, ayant subi une ACLR confirmée, datant de moins d'une semaine avec un document médical à l'appuis. Les critères d'inclusions comprennent les individus pratiquant régulièrement le football de

manière amateur ou semi-professionnel avec une pratique de minimum six heures par semaine avant la lésion, de sexe masculin afin de contrôler les variables hormonales et musculosquelettiques. Les individus devront être disponibles durant toute la durée de l'intervention ainsi que s'engager à suivre toutes les séances liées au programme afin d'observer des effets cliniques fiable. Les individus présentant des antécédents neurologiques tel que les crises d'épilepsies, les neuropathies périphériques, les accident vasculaire cérébrales, ou vestibulaire n'étant pas lié au LCA, des troubles musculosquelettiques récents tel que les fractures, entorses tendinites, luxations, qui pourrait porter atteinte à la pertinence des résultats, des contre-indication relative à l'usage de la VR ou certaines stimulation sensorielle, l'incapacité de suivre l'adhérence au traitement. De plus les individus ayant subi des chirurgies antérieures du LCA, des membres inférieurs, ou du tronc, ayant subi des infiltrations au cours d'une période inférieur à 3 mois, atteint de déficience cognitives pouvant altérer la réalisation correcte des exercices, ou encore, déjà eu recours à la prise de corticostéroïdes, l'inclusion dans un autre protocole de recherche, ou des troubles sensoriels cutanés sont exclus de l'étude.

3.Échantillonage

L'estimation de l'échantillonnage est aléatoire et simple avec une répartition via le calculateur d'échantillon Granmo (version 7.12) entre deux groupes distincts : un groupe expérimental (A) associé à la réalité virtuelle ainsi qu'au stimuli somato-sensoriel, et un groupe de contrôle (B) comprenant un traitement kinésithérapeutique conventionnelle. Selon l'analyse du calculateur Gramno sur une étude comparant deux moyennes indépendantes, avec un risque alpha de 0,05 et un risque bêta de 0,20 ainsi qu'une puissance statistique de 0,80, un pourcentage d'abandon de 15%, ainsi qu'une différence minimale cliniquement significative entre les deux groupes, il sera choisis la valeur de 1,5 sur les échelles de mesures concernant la NP : stimulation magnétique transcrânienne (TMS), électromyogramme (EMG), et PP : JPS test, (22-26). Pour cette étude, il sera requis 17 participants dans chaque groupe, soit un total de 34 sujets pour l'étude. Cette étude utilisera randomizeR, permettant l'affiliation aléatoire des participants (27).

4. Groupes

Les participants à cette étude seront divisés en deux groupes égaux et 17 sujets respectivement. Le groupe A, suivra un programme de rééducation standard associé à un entraînement en réalité virtuelle et des stimuli somato-sensoriel. Le groupe B, suivra le programme de kinésithérapie conventionnelle, inspiré du guide Melbourne (39).

5. Variables

5.1 Variables indépendantes

La variable indépendante de cette étude est le type de programme de réhabilitation appliqué aux individus, sur le groupe expérimental avec des participants recevant un programme de rééducation intégrant la VR ainsi que des stimulation somato-sensoriel, et sur le groupe contrôle ou les participants reçoivent un programme de rééducation basé sur un traitement kinésithérapeutique conventionnelle. L'influence de cette variable évalue les mécanismes neuro-plastique et proprioceptif.

5.2 Variables dépendantes

La variable dépendante de cette étude évalue les effets de l'intervention comprenant la VR ainsi que les stimuli somato-sensoriel au sein d'un même traitement. La variable dépendante évalue l'efficacité de l'intervention. Ce sont des valeurs analysées et interprétées afin de répondre aux hypothèses de l'étude. Dans cette recherche, les variables dépendantes évaluées sont : la PP, mesuré avec le JPS, qui est une variable quantitative simple, et mesure le degré de perception chez le joueur ; la NP, mesuré avec stimulation magnétique transcrânienne (TMS) qui est une variable quantitative simple qui évalue l'excitabilité au niveau cortical, et mesuré avec des EMG définis comme étant une variable quantitative qui mesure l'activation musculaire.

5.3 Variables médiatrices

Cette étude regroupe plusieurs variables médiatrices qui sont : l'adhérence au traitement mesurer avec le pourcentage de séance suivi étant une variable quantitative discrète, l'âge (en année) défini comme une variable quantitative discrète, la taille (en cm) et le poids (en kg) étant des variables quantitatives continues. La kinsésiophobie, étant une variable quantitative continu (score total) mesuré avec l'échelle TSK (19), la douleur résiduelle, étant une variable quantitative discrète (échelle de 0 à 10, mais évalué comme continu) mesuré avec le NPRS. Le type de chaussures utilisée quotidiennement, le type de pied, ainsi que le type d'appui pendant la marche étant des variables qualitatives nominal.

6. Description de l'intervention

La première réunion d'intervention sera réalisée au sein de l'université européenne de Madrid. Le kinésithérapeute sera équipé d'un appareil de VR immersive de type « Oculus » (Annexe 3) et du logiciel Unity version 6.1 modélisant le stade du Santiago-Bernabéu (Annexe 4), supervisé par un technicien spécialisé dans ce milieu, ainsi que les matériels nécessaires pour le déroulement correct de l'intervention. Avant de débuter l'intervention, il sera préalablement demandé à tous les participants d'approuver et de signer le consentement éclairé (Annexe 1). La durée totale du programme sera de 12 semaines, (Annexe 5) en raison d'une récupération importante fonctionnelle à ce stade, afin de stimuler favorablement les mécanismes neuroplastiques, et évité la fatigue musculaire afin d'obtenir des résultats optimaux. La supervision de l'intervention sera effectué par deux kinésithérapeutes. La phase expérimentale de l'étude consiste en la réalisation d'un programme d'entraînement de VR avec des stimuli somato-sensoriel, de 45 mins, du lundi au vendredi. La phase de contrôle de l'étude consiste en la réalisation d'un programme de réadaptation à base d'un traitement kinésithérapeutique conventionnelle, de 45 mins, du lundi au vendredi. Les deux groupes réaliseront donc cinq sessions par semaine et pour chaque exercice sera effectué : 3 séries de 10 répétitions, avec 2 mins de repos entre chaque série.

6.1 Groupe expérimental

Les sujets du groupe expérimental reçoivent un programme d'entraînement comprenant de la réalité virtuelle ainsi que des stimuli somato-sensoriel. Les illustrations de chacun des exercices se trouve en (Annexe 6). A la fin de chaque entraînement une phase de retour au calme sera effectué composer de massages relaxant de 5 mins pour chacun des participants. Les kinésithérapeutes seront chargés de la vigilance de chacun des patients pendant la réalisation des exercices. Le groupe expérimental effectuera des exercices spécifiques avec de la réalité virtuelle et stimuli somatosensoriel décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Exercices effectués par le groupe expérimental - Élaboration propre

Phase	Semaine	Exercices
1	1-2	1. VR Contraction isométrique 2. VR Mirror et stimuli tactile 3. VR Mirror : Flexion plantaire/dorsal avec stimuli tactile 4. VR assise : Simulation passe du ballon via la tête 5. VR assise : Transfert de poids 6. VR assise : Simulation de conduite
2	3-4	1. VR appui bipodal (A): Surface texture 2. VR appui bipodal (B) : avatar en miroir 3. VR mobilisation active 4. VR rythmique appui bipodal : Métronome 5. VR postural : Obstacles ant/post/lat 6. Catch VR : Réaction manuelle
3	5-6	1. VR appui bipodal (C) : Gestes techniques 2. VR appui uniopodal : Gestes techniques de football 3. VR reflexe : Réaction à un stimulus sensoriel imprévu 4. VR Move : Appui bipodal transfert latéral 5. VR Play : Jeu de précision avec appui ciblé 6. VR Slalom visuel : Appui unipodal et parcours 7. VR Mirror : Image inversé et flexion ou extension du genou active 8. VR Cognition Movement : Association de couleur à un mouvement spécifique
4	7-12	1. VR Anticipation feedforward : Mémorisation a court terme d'un geste technique 2. VR Parcours : Déplacement dans un parcours simulé avec obstacles, zone texturé ou vibrante 3. VR et EMG : Avatar et reproduction des tâches en temps réel 4. VR PLAY : Réalisation de passe de ballon virtuel 5. VR Stair : Réception d'un feedback correct ou incorrect de la flexion de hanche lors de la monté d'une marche d'escalier 6. VR role playing : Position du gardien de foot 7. VR Squat : Coach virtuel et auditif, positionnement sur un angle demandé de squat 8. VR Pilometrie : Saut d'obstacle avec un ballon 9. VR Move : Course en triangle 10. VR Running : Tapis de course 5km/h avec conduite de balle virtuelle 11. VR Running Inverse : Tapis de course en marche arrière

GROUPE A

6.2 Groupe contrôle

Les sujets du groupe contrôle reçoivent un programme de kinésithérapie conventionnel, basé sur le guide de Melbourne (39). Les illustrations de chacun des exercices se trouve en (Annexe 7). A la fin de chaque entraînement une phase de

retour au calme sera effectué composer de massages relaxant de 5 mins pour chacun des participants. Les kinésithérapeutes seront chargés de la vigilance de chacun des patients pendant la réalisation des exercices. Le groupe contrôle effectuera des exercices spécifiques au traitement kinésithérapique conventionnel décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°2 : Exercices effectués par le groupe contrôle - Élaboration propre.

Phase	Semaine	Exercices	GROUPE
1	1-2	1. Isométrie du quadriceps 2. Isométrie des ischios-jambiers 3. Straight leg raise 4. Flexion de genou : en fonction de la tolérance du patient en décubitus dorsal (glissade du talon) 5. Transfert du poids : assis sur les tubérosités ischiatiques 6. Mobilisation patellaire : passive	
2	3-4	1. Flexion/extension : passive sur sol glissant 2. Flexion plantaire : appuis sur une chaise 3. Hip-trust 4. Marche : à l'aide des béquilles, ne pas charger à 100% sur la jambe lésée 5. T.R.X : squat 6. T.R.X : fente	B
3	5-6	1. Trendeleburg : adapté à l'exercice 2. Fentes : sur surface stable 3. Star execution balance test : adapté à l'exercice 4. Squat jusqu'à 90° : selon la tolérance du patient 5. Rééducation à la marche : à l'aide des béquilles charger jusqu'à ne plus utilisé les béquilles 6. Squat monopodal 7. Extension unilatéral : sur poulie	
4	7-12	1. Hip trust : monopodal 2. Trendelenburg : sur une surface instable 3. Leg extension 4. Atterrissage controlé 5. Sauts à la corde : monopodal et unipodal 6. Role playing : Position du gardien de foot, arrêt de penalty 7. Trendelenburg : simulation de passe de balle avec un ballon 8. Exercice de coordination et d'agilité : slalom avec ballon 9. Planche : avec extension de hanche (poids cheville) 10. Rééducation à la course/marche : sur tapis avec ballon 11. Nordic hamstrings	

7. Collecte des données

Afin de limiter les biais et obtenir une collecte de données impartial il est nécessaire de la procéder en aveugle par le kinésithérapeute évaluateur, le neurologue, et le statisticien. La collecte des données se réalisera avant le traitement en semaine 0 (S0) ; à 6 semaines (S6), au milieu du traitement ; à 12 semaines (S12), à la fin du traitement ; et à 16 semaines (S16), quatre semaines après la fin du traitement. Il a été décidé quatre périodes de récoltes de données, afin de suivre l'évolution du traitement dont deux périodes (S6) et (S12) seront étalées sur deux jours consécutifs, soit J0+1 auquel les récoltes de données seront divisées en : Récolte Proprioception (RP) ;

Récolte Neuroplasticité (RNP), puis l'ordre de la récolte sera inversé lors de la dernière semaine de traitement, soit la semaine douze afin restreindre les biais et une accoutumance des participants. Les RP et RNP seront équivalentes dans les types d'évaluations hormis lors de la première évaluation auquel la RP débutera par l'évaluation de la PP et exclura celle de la NP puis la RNP concertera l'évaluation de la NP qui exclura celle de la PP. Il a été inclus à la (S16) une période de récolte soit quatre semaines après la fin du traitement dans l'objectif de percevoir l'évolution à moyen terme. Enfin l'ensemble des variables sera mesuré lors de chaque période de récolte (Annexe 5).

1. Évaluation du sens de position de l'articulation du genou dans l'espace : Le JPS (Annexe 8) sera utilisé dans le but d'évaluer le niveau de PP. Le JPS est un test qui examine la capacité de reproduire un angle présenté antérieurement par un segment de corps et amène des données sur la PP active d'une articulation. Il se réalisera d'abord en chaîne cinétique ouverte en décubitus dorsal puis chaîne cinétique fermé en bipedestation. En position couché, les participants auront leur pied sécurisé à 90° par des blocs le long de deux rails coulissants parallèles et une vision occluse sur leur jambe à l'aide d'un bandeau noir réglable en tissu non allergène fournis au début du test. La flexion initiale du genou sera de 90° et la flexion maximale sera limitée jusqu'à 110°. La récolte de données s'effectuera par l'intermédiaire d'un électrogoniomètre pour être transmise un tableau Microsoft Excel et positionné au niveau de l'articulation du genou au milieu entre l'épicondyle fémoral et tibial et les bras de l'électrogoniomètre en orientation supérieur et inférieur respectivement dans l'alignement du grand trochanter et la malléole externe. Il sera demandé au patient au préalable du test une série de cinq répétitions d'entraînement auquel il devra reproduire un angle cible randomisé qui sera choisi selon l'examinateur pour se familiariser avec le matériel. Les instructions demandées aux participants seront de reproduire un angle cible auto-sélectionné de façon la plus précise possible et de le maintenir pendant cinq secondes puis revenir à la position initial (90°) puis il sera demandé d'exécuter la même tâche avec la jambe controlatérale. De plus les participants seront munis d'une gâchette permettant de confirmer leur choix lorsqu'ils penseront avoir atteint l'angle

ciblé. En bipedestation, le test sera effectué après trois minutes de récupération puis les participants avec les yeux bandés et la gâchette seront positionné sur une surface surélevée d'un minimum de cinquante centimètres et pour faciliter l'équilibre un poteau sera placé ipsilatéralement devant eux par rapport à la jambe testé. Les participants seront sur un coté de la surface afin que la jambe controlatérale soit suspendu dans le vide et que les mesures soient réalisées sur la jambe en contact avec la plateforme. Il est important de préciser que la réalisation de la récolte et les instructions seront les même qu'en décubitus dorsal. La sélection de la jambe de départ dans les deux positions, sera randomisée pour chaque session de trois angles cibles différent à reproduire espacer de deux minutes d'intervalle (28-30).

2. Évaluation de la neuroplasticité : La première évaluation est la stimulation magnétique transcrânienne (TMS) qui est un examen non invasif de neurostimulation permettant de mesurer l'activité des circuits neuronaux via des impulsions magnétiques créant un champ magnétique localisé traversant l'encéphale puis induira une excitabilité ou une inhibition corticale en fonction des zones, qui sera retransmise de manière directe sur le logiciel « BrainSight ». Différentes fréquences seront utilisées : haute et basse avec une durée moyenne de 10 à 15 min par participants et une moyenne entre 600 et 3000 impulsions pour chacune des sessions effectuées. Au cours de l'évaluation le niveau du seuil d'excitabilité, les amplitudes Motor Evoked Potentials (MEPs) du cortex moteur (M1), le cortex préfrontal dorsolatéral (DLPFC) seront particulièrement analysés étant étroitement en lien avec la plasticité cognitive (31-33). De plus chaque TMS réalisé sera combiné à un EMG du membre inférieur afin de mesurer les changements produits au niveau de l'activité neuromusculaire périphérique (34). La deuxième est une méthode indirecte via un questionnaire d'élaboration propre (Annexe 9) à remplir après chaque TMS et il sera basé avec une échelle de Likert, où quinze questions portant sur le ressenti des activités de la vie quotidienne (AVQ) seront posées aux participants, avec un système de notation semantique de cinq items allant de 1 « Tout à fait d'accord » à 5 « Pas du tout d'accord » indiquant les évolutions personnelles au cours de la réhabilitation (35).

3. Évaluation de la peur liée au mouvement : Tampa Scale for Kinésophobia (TSK) : (Annexe 10) sera utilisé dans le but de recueillir des données normatives au niveau psychologique sur la peur du mouvement. Cette échelle est un outil fiable et extrapolable à toute la population qui n'interfère avec aucune variable médiatrice. Dans notre étude nous utiliserons la version TSK-17 avec une valeur de fiabilité au test-retest (IC 95%) de 0,86, qui se compose de dix-sept items chacune basé sur une échelle de Likert de quatre points avec en 1 « Tout à fait en désaccord » ; en 2 « En désaccord » ; en 3 « D'accord » et 4 « Tout à fait d'accord ». Il est important de préciser que lors du calcul du score, les items sept et onze sont inversés et vont à l'encontre de la kinesiophobie. Le score maximal pouvant être atteint sera de soixante-huit points et plus le score sera haut, plus il sera proportionnel au niveau de kinésophobie chez les sujets.(36).

4. Évaluation de l'intensité de la douleur : L'échelle Numeric Pain Rating Scale(NPRS) sera attribuée aux athlètes pour évaluer l'échelle correspondant à leur niveau de douleur NPRS (Annexe 11). Au cours de l'étude elle représentera la première mesure lors de chaque période de recueil de donnée afin de limiter le biais cognitif de type Halo. De plus si le patient ressent une douleur en dehors des périodes de mesure, il lui sera demandé de la noter et de le notifier aux examinateurs. L'échelle NPRS représente un dispositif fiable et rapide d'utilisation pour estimer la douleur subjective chez les participants se projetant sur une gamme de 0 à 10, auquel 0 représente « absence de douleur » et 10 « douleur insoutenable » (37). De plus les participants à la fin des mesures S0,S6,S12 et S16 seront soumis au questionnaire « Short-Form McGill Pain » (Annexe 12). Afin de recueillir les symptômes pertinents et verbales permettant une définition plus précise du type de douleur ressentie et son évolution chez les patients (41).

5. Évaluation de la force : Un dynamomètre portable sera utilisé pour la Force musculaire (F) des athlètes (38). Il est considéré comme un outil de mesure intéressant pour la mesure de la F des membres inférieurs (32). Le dispositif récent, OT-Bioelettronica, To-Italie (NOD) est un instrument numérique portatif regroupant les

fonctions d'algomètre, biofeedback et dynamomètre. La F isométrique des différents districts corporels sera mesuré. La F recueillies sera transmise via une connexion Bluetooth® relié à un écran affichant les valeurs obtenues grâce à une application dédiée. Le système NOD respecte les normes EN 60601-1 et EN 60601-1-2. La F des membres inférieurs sera étudiée incluant : la flexion de genou (FFG) et l'extension de genou (EFG) en position assise sur une surface dur en chaîne cinétique ouverte auquel les participants seront surélevés du sol de cinq centimètres avec une flexion de hanche en rotation neutre de 90° et une flexion passive de genou de 90°. Pour la réalisation de ces deux tests, le NOD sera positionné au niveau de la cheville cinq centimètres au-dessus des malléoles médiales distales puis on demandera de maintenir la F maximale sur une durée de cinq secondes puis une minute de récupération. Il sera réalisé au total trois mesures de chaque test. Une moyenne des trois valeurs sera retenue auquel elle sera convertie par la suite en Newton (N) (39).

8. Analyse de l'étude :

Après la réalisation de la collecte de données, ces dernières seront toutes analysées à partir du logiciel IBM SPSS version 30.0 à l'exception des données en lien avec la NP auquel nous utiliserons le logiciel Brainsight version 2.5.8. Dans un premier temps il sera nécessaire de recueillir les données sur Brainsight sous forme de coordonnées spatiales (x,y,z) en fonction des points de stimulation du TMS, puis exporter les données temporelles (intensité, localisation, nombre d'impulsions) et générer des exports Comma-separated values (CSV) pour obtenir des variables numériques et dans un second temps les exporter vers le logiciel IBM SPSS. Les deux logiciels sont compatibles avec macOS Sonoma. Afin d'analyser l'entièreté des données un intervalle de confiance (IC) de 95% avec une valeur significative de $p<0,05$ sera appliqué. Notre taille d'échantillon reste inférieure à $n<50$ dans chacun des deux groupes de l'étude, ainsi il sera utilisé le test de Shapiro-Wilk dans l'analyse statistique quantitatives pour s'assurer si les variables suivent la loi normale ou pas. Il sera considéré si les données statistiques suivent la loi normale en

obtenant comme résultat $p > 0,05$. On procèdera aussi à une analyse descriptive, où les mesures tels que la médiane, moyenne regroupant les mesures de tendances centrales et les écart-type, erreur de mesure standard, interquartile représentant les mesures de dispersions seront réalisées pour chacune des variables intégrées dans le logiciel. Dans l'objectif de répondre à nos hypothèses et initier des comparaisons intergroupes, il sera utilisé le test t de Student après le test de Shapiro-Wilk si la distribution suit la normale avec des variances similaires entre les groupes. Néanmoins si après le test de Shapiro-Wilk, la distribution ne suit pas la normale, il sera appliqué le test de Mann-Whitney U, une alternative non paramétrique afin d'établir une comparaison entre les deux groupes. Il sera essentiel de réaliser des mesures d'associations entre les variables médiatrices dépendantes et indépendantes. En fonction de la nature de la loi normale, et pour les deux variables continues (NP et PP) il sera utilisé différents paramètres : le coefficient de corrélation de Pearson si la loi est normale ou le coefficient de Spearman si la loi ne suit pas la normal. Concernant les variables de type qualitatives le test du chi-carré (χ^2) sera appliqué.

9. Limites de l'étude :

Des critères d'inclusion exigeant : hommes de 18 à 35 ans, avec une pratique régulière du football de six heures par semaine, qui ont subi une ACLR, inférieur à une semaine. Le cycle hormonal des femmes sur les seize semaines de l'étude aurait impacté les résultats, concernant l'évaluation des douleurs (45). La difficulté d'exécution des exercices peut altérer les résultats. Il y a une limite d'interprétation des résultats, concernant le type de plastie utilisée chez le patient. La plastie du semi-tendineux peut associer une faiblesse des ischios-jambiers. Un niveau de douleur post-opératoire différent selon la plastie réalisée (42-44). De plus la VR offre une nouvelle perception de la réalité, certains patients pourraient être réticent avec des effets secondaires en fonction de leur sensibilité, un risque d'abandon est important et aussi la collecte des données post-étude augmente ce risque d'abandon. Puis d'un point de vue financier, l'étude est couteuse via le casque VR, la TMS pour chaque patient. La réalisation du TMS se déroule dans un lieu différent, certains participants n'ont pas moyen de

locomotion pour s'y rendre. L'étude n'étant pas en double aveugle l'apparition possible des biais de confirmation peuvent impacter les données du groupe expérimental en tirant des bénéfices par rapport au groupe contrôle.

10. Équipe de recherche :

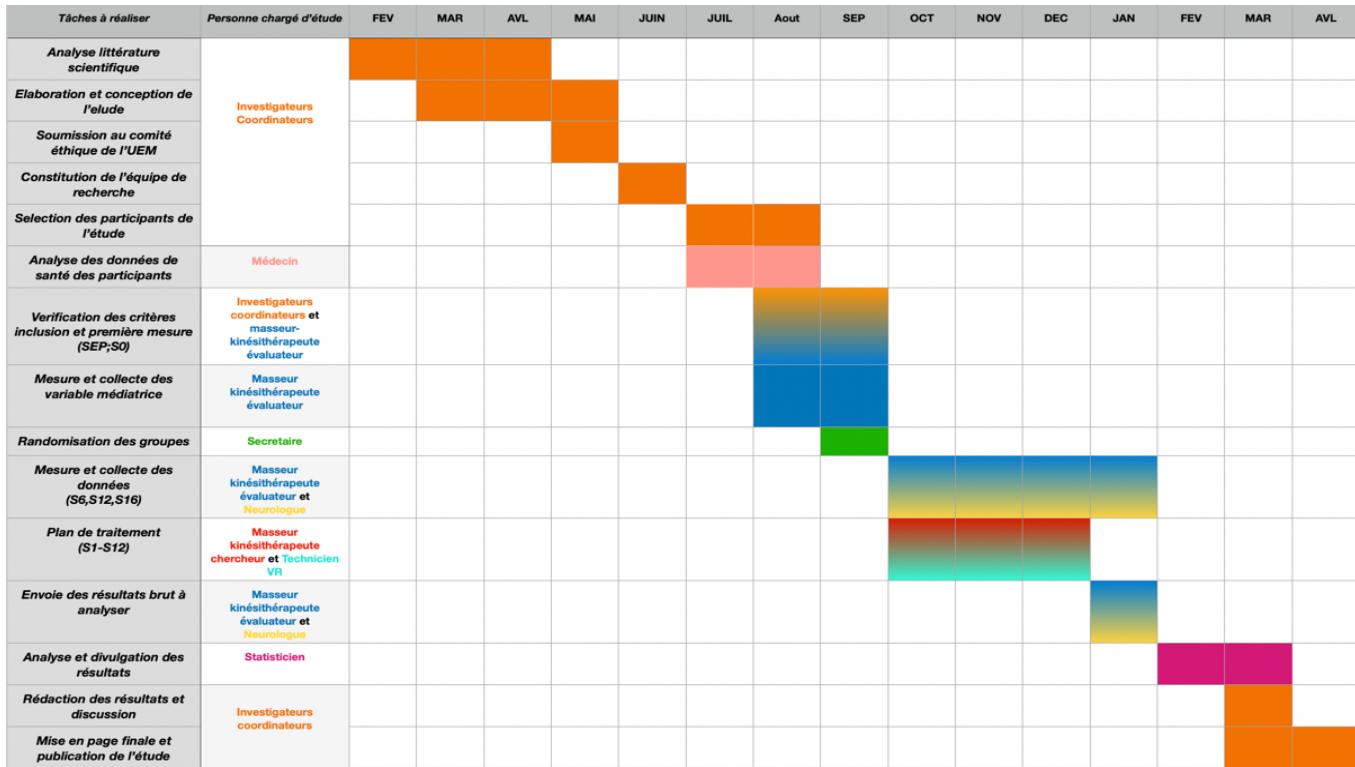
Notre équipe de recherche se compose :

- Deux investigateurs coordinateurs : Lucas Thiery et Joris Calamia, chargés de l'investigation et de la rédaction de l'étude, le recrutement des participants ainsi que la publication de l'étude.
- Un médecin qui s'occupera de l'analyse des données de santé après l'ACLR.
- Un masseur-kinésithérapeute évaluateur, chargé de l'inclusion des participants à l'étude, de mesurer les variables dépendantes et médiatrices de l'étude ainsi que de la transmission des résultats bruts au statisticien analyste. Il devra savoir utiliser les méthodes de mesure.
- Un neurologue chargé de relever les données issues du TMS et de l'EMG pour les transmettre au statisticien.
- Un secrétaire, chargé des 'inscription des participants, de la gestion des formulaires via un google forms (Annexe 13) ainsi que son tri. Il sera chargé de la randomisation des groupes de participants ainsi que des connaissances concernant le logiciel RandomizeR. Cette personne s'occupera donc de toute la partie administrative.
- Deux masseurs-kinésithérapeutes chercheurs ; les investigateurs eux-mêmes, qui réaliseront les actes de réhabilitation au près des participants.
- Un technicien spécialisé dans la VR chargé de la bonne utilisation du matériel et des normes de sécurité auprès des participants. Il devra connaître les instructions à appliquer dans le programme de réhabilitation de la VR.
- Un statisticien qui sera chargé d'analyser d'interpréter les données, d'utiliser des outils statistiques, de détecter les tendances, corrélations et les différences significatives des données. Il devra détecter les potentiels anomalies et avoir la pleine maîtrise du logiciel SPSS 30.0.

VI- Plan d'action d'étude

1. Étapes de déroulement et répartition des tâches de l'équipe

Tableau 3 : Chronogramme du plan d'étude à la réalisation de la recherche, Élaboration propre



2. Lieu de collecte

Le premier établissement sera au pôle d'activité de recherche et d'investigation de l'activité physique et de la santé au Polideportivo du bâtiment D de l'université européenne de Madrid (UEM). Puis le second établissement se trouvera dans une clinique disposant d'un dispositif de TMS et d'EMG en dehors de l'UEM.

3. Durabilité

L'étude en VR permet de donner de la motivation pour le retour à la pratique du football, Seulement 34 patients inclus dans l'étude, donc une gestion tolérable des participants. Une équipe d'investigation réduite, permet une communication efficace et fluide. De plus elle répond au troisième et quatrième objectif de développement durable (ODD) 2030. La VR associé aux stimuli sensoriel permet une rééducation plus personnalisée et permet aussi d'offrir un outil pédagogique aux kinésithérapeutes. La richesse de la littérature scientifique appuie sur la crédibilité et l'impact de notre recherche.

VII-Bibliographie

1. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus: Texto y atlas de anatomía. Tomo 1, Anatomía general y aparato locomotor. 5^a ed. Voll M, Wesker K, ilustradores. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2020.
2. Muro S, Kim J, Nimura A, Tsukada S, Akita K. Analyse morphométrique de la forme de fixation tibiale du ligament croisé antérieur et de sa relation avec l'emplacement de la corne antérieure du ménisque latéral. Am J Sports Med. 2024 Mar;52(3):682-690. doi:10.1177/03635465211012345.
3. Hong IS, Pierpoint LA, Hellwinkel JE, Berk AN, Salandra JM, Meade JD, et al. Clinical Outcomes After ACL Reconstruction in Soccer (Football, Futbol) Players: A Systematic Review and Meta-Analysis. Sports Health. 2023 Nov;15(6):788-804.
4. Grassi A, Macchiarola L, Filippini M, Lucidi GA, Della Villa F, Zaffagnini S. Epidemiology of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Italian First Division Football Players. Sports Health. 2019;12(3):279-288. doi:10.1177/1941738119885642
5. Gokeler A, Neuhaus D, Benjaminse A, Grooms DR, Baumeister J. Principes de l'apprentissage moteur pour soutenir la neuroplasticité après une lésion du LCA : implications pour l'optimisation des performances et la réduction du risque de deuxième lésion du LCA. Sports Med. 2019 Jun;49(6):853-865.
6. Sandon A, Engström B, Forssblad M. Risque élevé de blessures à un ligament croisé antérieur dans une étude de suivi de 10 ans de joueurs de football reconstitués par ligaments cruciaux antérieurs dans le registre national suédois du ligament du genou. Arthroscopy. 2020 Jan;36(1):189-195. doi:10.1016/j.arthro.2019.08.017.
7. Fischer AG, Erhart-Hledik JC, Asay JL, Chu CR, Andriacchi TP. Utilizing the somatosensory system via vibratory stimulation to mitigate knee pain during walking: Randomized clinical trial. Gait Posture. 2020 Jul 1;80:37-43.
8. Pšeničnik Sluga S, Kozinc Ž. Sensorimotor and proprioceptive exercise programs to improve balance in older adults: a systematic review with meta-analysis. Eur J Transl Myol. 2024;34(1):12010.
9. Gsangaya MR, Htwe O, Selvi Naicker A, Md Yusoff BAH, Mohammad N, Soh EZF, et al. Comparison between the effect of immersive virtual reality training versus conventional rehabilitation on limb loading and functional outcomes in patients after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective

- randomized controlled trial. Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol. 2023 Oct 5 ;34 :28-37.
10. White MP, Yeo NL, Vassiljev P, Lundstedt R, Wallergård M, Albin M, et al. A prescription for “nature” – the potential of using virtual nature in therapeutics. Neuropsychiatr Dis Treat. 2018 Nov 8 ;14 :3001-13.
11. Dascal J, Reid M, IsHak WW, Spiegel B, Recacho J, Rosen B, et al. Virtual Reality Medical Inpatients: A Systematic Review of Randomized, Controlled Trials. Innov Clin Neurosci. 2017 Feb 1 ;14(12) :14-21.
12. Cortés-Pérez I, Desdentado-Guillem JM, Camacho-Delgado MS, del Rocío Ibancos-Losada M, Obrero-Gaitán E, Lomas-Vega R. Virtual reality-based therapy after anterior cruciate ligament injury effectively reduces pain and improves knee function, movement patterns, and dynamic balance : A systematic review and meta-analysis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. [Internet]. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ksa.12477>
13. Drigas A, Sideraki A. Brain Neuroplasticity Leveraging Virtual Reality and Brain–Computer Interface Technologies. Sensors. 2024 Sep 3 ;24(17):5725.
14. Wankhede NL, Koppula S, Ballal S, Doshi H, Kumawat R, Raju S, et al. Dynamiques modulantes de la neuroplasticité de la réalité virtuelle : Innovations en rééducation neuro-motrice. Neuroscience. 2025 Feb 6 ;566 :97-111. doi: 10.1016/j.neuroscience.2024.12.024.
15. Puderbaugh M, Emmady PD. Neuroplasticity. In: StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; 2023. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557811/>
16. Chaban VV, éditeur. Neuroplasticity - Insights of Neural Reorganization [Internet]. InTech; 2018. Available from: Neuroplasticity - Insights of Neural Reorganization | IntechOpen
17. Baez S, Andersen A, Andreatta R, Cormier M, Gribble PA, Hoch JM. Neuroplasticity in Corticolimbic Brain Regions in Patients After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Athl Train. 2021 Apr 1 ;56(4):418-26.
18. Bram JT, Magee LC, Ganley TJ, et al. Anterior Cruciate Ligament Injury Incidence in Adolescent Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. Am J Sports Med. 2021 ;49(7) :1962-1972. doi :10.1177/0363546520959619.

19. Nyland J, Gamble C, Franklin T, Caborn DNM. Changements permanents du système sensorimoteur du genou suite à une lésion et une chirurgie du LCA. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 May ;25(5) :1461-1474. doi :10.1007/s00167-017-4455-2.
20. Lee SH, Jung HY, Yun SJ, Oh BM, Seo HG. Upper Extremity Rehabilitation Using Fully Immersive Virtual Reality Games With a Head Mount Display : A Feasibility Study. *PM R.* 2020 Mar ;12(3):257-62.
21. Ghai S, Ghai I, Effenberg AO. Effect of rhythmic auditory cueing on parkinsonian gait: A systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2018 ;8(1):506. doi :10.1038/s41598-017-16232-5.
22. Jannati A, Oberman LM, Rotenberg A, Pascual-Leone A. Assessing the mechanisms of brain plasticity by transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychopharmacology.* 2022 ;48(1) :191-208. doi :10.1038/s41386-022-01453-8.
23. Seidel O, Carius D, Kenville R, Ragert P. Motor learning in a complex balance task and associated neuroplasticity: à comparison between endurance athletes and nonathletes. *J Neurophysiol.* 2017 ;118(3) :1849-60. doi :10.1152/jn.00419.2017.
24. Kaya D, Guney-Deniz H, Sayaca C, Calik M, Doral MN. Effects on lower extremity neuromuscular control exercises on knee proprioception, muscle strength, and functional level in patients with ACL reconstruction. *Biomed Res Int.* 2019 ;2019 :1694695. doi :10.1155/2019/1694695.
25. Telles GF, Coelho VK, Gomes BS, Alexandre DJA, Corrêa LA, Nogueira LAC. Pain and disability were related to Y-balance test but not with proprioception acuity and single-leg triple-hop test in patients with patellofemoral pain : a cross-sectional study. *J Bodyw Mov Ther.* 2024 ;38 :42-6. doi: 10.1016/j.jbmt.2023.12.009.
26. Uschner D, Schindler D, Hilgers RD, Heussen N. randomizeR: An R Package for the Assessment and Implementation of Randomization in Clinical Trials. *J Stat Softw.* 2018 Jun 19 ;85 :1-22.
27. Jebreen M, Sole G, Arumugam A. Test-Retest Reliability of a Passive Joint Position Sense Test After ACL Reconstruction : Influence of Direction, Target Angle, Limb, and Outcome Measures. *Orthop J Sports Med.* 2023 Mar 21 ;11(3) :23259671231157351.

28. Strong A, Srinivasan D, Häger CK. Development of supine and standing knee joint position sense tests. *Physical Therapy in Sport*. 2021 May ;49 :112-21.
29. Grinberg A, Strong A, Häger CK. Longitudinal assessment of knee joint proprioception using weight-bearing and non-weight-bearing tests throughout rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Physical Therapy in Sport*. 2024 Nov ;70 :53-60.
30. Kariminezhad S, Zomorodi R, Zrenner C, Blumberger DM, Ameis SH, Lin HY, et al. Assessing plasticity in the primary sensory cortex and its relation with atypical tactile reactivity in autism: A TMS-EEG protocol. *PLoS ONE*. 2024 Nov 26 ;19(11) : e0305013.
31. Loheswaran G, Barr MS, Zomorodi R, Rajji TK, Blumberger DM, Le Foll B, et al. Impairment of Neuroplasticity in the Dorsolateral Prefrontal Cortex by Alcohol. *Sci Rep*. 2017 Jul 13 ;7(1) :5276.
32. Mitani A, Shimizu T, Terai J, Maeda K, Suzuki K, Kioka K. Neuroplasticity in the motor cortex following the achievement of sufficient motor learning. *Neurosci Lett*. 2025 Feb 16 ;849 :138117.
33. Kim J, Lee BH. Effects of virtual reality combined with real instrument training on upper limb function, cognitive function, and quality of life in stroke patients : a randomized controlled trial. *J Exerc Rehabil*. 2022 Oct ;18(5):289-296.
34. Drechsler WI, Cramp MC, Scott OM. Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *Eur J Appl Physiol*. déc 2006;98(6):613-23.
35. Eiger B, Errebo M, Straszek CL, Vaegter HB. Less is more : reliability and measurement error for three versions of the Tampa Scale of Kinesiophobia (TSK-11, TSK-13, and TSK-17) in patients with high-impact chronic pain. *Scandinavian Journal of Pain*. 2023 Jan 1 ;23(1) :217-24.
36. Young I, Dunning J, Mourad F, Escaloni J, Bliton P, Fernández-de-Las-Peñas C. Clinimetric analysis of the numeric pain rating scale, patient-rated tennis elbow evaluation, and tennis elbow function scale in patients with lateral elbow tendinopathy. *Physiother Theory Pract*. 2025 Jan 10.
37. Sartorio F, Lippi L, Vercelli S, Gallo F, Zanin D, Bergesio S, et al. Reliability and validity of the hand-held dynamometer « NOD » : a new instrument for

- assessment of isometric grip strength. BMC Musculoskelet Disord. 2025 Jan 2;26(1):5.
38. Center JA, Willy RW, Elias ARC, Mischke JJ. Validity of a commercially available load cell dynamometer in measuring isometric knee extension torque in patients with knee disorders. Phys Ther Sport. 2024 May ;67 :167-73.
39. Pinto-Ramos J, Moreira T, Costa F, Tavares H, Cabral J, Costa-Santos C, et al. Handheld dynamometer reliability to measure knee extension strength in rehabilitation patients - A cross-sectional study. PLoS One. 2022 May 17 ;17(5): e0268254.
40. Cooper R, Hughes M. Melbourne ACL Rehabilitation Guide 2.0. The Joint Studio 2024
41. Dworkin RH, Turk DC, Trudeau JJ, Benson C, Biondi DM, Katz NP, et al. Validation of the Short-Form McGill Pain Questionnaire-2 (SF-MPQ-2) in Acute Low Back Pain. The Journal of Pain. 1 avr 2015;16(4):357-66.
42. García-Linage R, Lassard-Rosenthal J, Noval-García R, Muñiz-Madrazo A, Fraind-Mayra G, Palmero-Picazo J, German-Córdoba I, Zimbrón-López D. Injerto autólogo de isquiotibiales versus cuádriceps en la plastía de ligamento cruzado anterior. Estudio comparativo con enfoque al Return-To-Sport. Acta Ortop Mex. 2025;39(1):19-26. doi:10.35366/118848.
43. Wu, J., Kator, J. L., Zarro, M., & Leong, N. L. (2022). Rehabilitation Principles to Consider for Anterior Cruciate Ligament Repair. Sports health, 14(3), 424–432.
44. Chung K, Ham H, Kim SH, Seo YJ. Effect of graft choice for ACL reconstruction on clinical outcomes in combined ACL and ALL injuries: Comparison between bone–patellar tendon–bone, quadriceps tendon, and hamstring autografts. J Clin Med. 2024 Oct 22;13(21). doi:10.3390/jcm13212600.
45. Kishali NF, Imamoglu O, Katkat D, Atan T, Akyol P. Effects of menstrual cycle on sports performance. Int J Neurosci. déc 2006;116(12):1549-63.

Annexe 1 : Consentement éclairé, français et espagnole.

Titre de l'étude : Effet d'un entraînement en réalité virtuel associé à des stimuli somato-sensoriels sur la proprioception et la neuroplasticité chez les footballeurs en réhabilitation d'une reconstruction ligament croisé antérieur.

Promoteur : Université européenne de Madrid

Investigation : Lucas Thiery et Joris Calamia

Centre : Université européenne de Madrid

Vous êtes invités à participer à une étude de recherche scientifique, réalisé à l'université européenne de Madrid, à Villaviso de Odon.

Ce document a pour objectifs de vous expliquer l'éclairement le motif de l'étude, et ses objectifs, les bénéfices et possibles risques liés à l'étude. Toutes questions ou doutes après lecture du consentement éclairé peuvent être posé auprès de l'équipe de recherche avant tout engagement. Vous pouvez consulter les personnes que vous jugez appropriées sur votre participation.

Résumé de l'étude :

Les joueurs de football sont très touchés par les lésions du ligament croisés antérieur, et subissent fréquemment une chirurgie de reconstruction ligamentaire. La présente étude vise à évaluer l'impact de la réalité virtuelle associé à des stimuli somato-sensoriel sur la proprioception et les mécanismes neuroplastique en comparaison à un traitement conventionnel de kinésithérapie chez les joueurs ayant subi une reconstruction du ligament croisé antérieur. Pour cela, deux groupes seront mis en place : un groupe expérimental recevant un traitement de kinésithérapie avec de la réalité virtuel ainsi que des stimuli somato-sensoriel et un groupe de contrôle, recevant un traitement de kinésithérapie conventionnel. L'intervention comprends une durée de

12 semaines, après intervention chirurgical, avec une nécessité de participation cinq fois à la semaine les : lundi, mardi, mercredi, jeudi, et vendredi. De plus une présence sera nécessaire à la semaine 16 de l'intervention pour une collecte de données.

Pourquoi cette étude ?

Les lésions du ligament croisé antérieur chez les footballeurs sont fréquentes, et il existe de nombreuses récidives après avoir reçu une chirurgie accompagné d'un processus de réhabilitation. Les processus de réhabilitation actuel restent insuffisants. Les programmes de réhabilitation mis en place aujourd'hui pour la rééducation des schémas moteur et le contrôle moteur restent insuffisants. L'intégration de nouvelles technologies comme la réalité virtuel associé des stimuli peut jouer un rôle clé dans le développement de recherche et des avancés thérapeutique chez les sportifs atteints de cette lésion.

Participation et retrait de l'étude

Si vous décidez de vous retirer de l'étude, vous pouvez le faire en autorisant l'utilisation des données collectées jusqu'à ce moment-là aux fins de l'étude, ou si vous le souhaitez, tous les enregistrements et données seront supprimés de l'étude, ou si vous le souhaitez, tous les enregistrements et données seront supprimés des fichiers informatiques.

Quel sont les critères d'éligibilités pour l'intervention ?

Les participants devront regroupés plusieurs critères :

- Pratique régulière du football (minimum de 6h par semaines)
- Sexe masculin
- Disponibilité du participant à l'étude
- Age en 18 à 35 ans

- Document médical attestant de la reconstruction du ligament croisé antérieur

Le recrutement des participants se fera via les réseaux sociaux, en répondant à un questionnaire d'éligibilité (google doc).

En quoi consiste la participation à l'étude ?

La participation inclus la présence aux applications thérapeutique le lundi, mardi, mercredi, jeudi et vendredi. Le participant devra également se présenter à la semaine 16 pour l'évaluation finale.

Quels sont les risque et bénéfices potentiel à la participation de cette étude ?

Les risques à la participation inclus les risque et complications d'une réhabilitation kinésithérapeutique après chirurgie du ligament croisé antérieur, tel que la douleur, une atteinte psychologique, le manque de confiance en soi.

Les bénéfices regroupent l'ensemble des bénéfices potentiel lié à la participation d'un programme de réhabilitation après avoir subi une reconstruction du ligament croisé antérieur, tel qu'une diminution de la douleur, une augmentation de l'amplitude de mouvement, une meilleure fonctionnalité, ou encore une récupération du contrôle moteur.

Qui a accès aux données personnels ?

Le traitement, la communication et la cession des données à caractère personnel de tous les sujets participants seront conformes aux dispositions de la loi organique 3/2018 du 5 décembre Protection des données personnelles et garantie des droits numériques. Conformément à la législation mentionnée ci-dessus, vous pouvez exercer les droits d'accès, de modification, d'opposition et de suppression des données, pour lequel vous devez consulter votre médecin participant à l'étude.

La participation à l'étude récompense-t-elle d'une rémunération économique ?

Aucune compensation financière n'est effectuée au cours de l'étude.

Qui est l'actionnaire finançant l'étude ?

Le promoteur de l'étude est responsable de la gestion du financement.

Pour la réalisation de l'étude, le promoteur a signé un contrat avec le centre où elle aura lieu

Information importante :

Si vous décidez de vous retirer de cette étude et exiger de mettre un terme à votre consentement à participer à cette étude, aucune nouvelle donnée sera ajoutée à la base de données et vous pouvez exiger la destruction de vos données et/ou de tous les enregistrements identifiables, précédemment retenus. Vous pouvez être exclu de l'étude si les chercheurs de l'étude le jugent opportun, pour des raisons de sécurité, ou pour tout événement indésirable qui se produit ou encore, si vous ne respectez pas les procédures établies. Vous recevrez une explication appropriée de la raison qui a entraîné son retrait de l'étude.

Assurance :

Le promoteur de cette présente étude financera une assurance afin de protéger les participants en cas de préjudice sur la santé ou de blessures, résultant d'une action de l'étude.

Qualité scientifique et exigences éthiques de l'étude :

Cette étude a été soumise pour approbation par le Comité d'éthique de l'Université Européenne de Madrid, Valence et les îles Canaries, qui veille à la qualité scientifique des projets de recherche menés au centre. Lorsque la recherche est faite avec des

personnes, ce comité veille au respect de la dans la Déclaration d'Helsinki et la législation en vigueur sur recherche biomédicale (loi 14/2007, de juin sur la recherche biomédicale) et essais cliniques (R.D. 223/2004 du 6 février, régissant les essais cliniques avec des médicaments, modifié par le décret royal 1276/2011 du 16 septembre).

Questions :

Toute questions de votre part pourra être traité par l'équipe de recherche au sein de l'étude.

CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ :

M./Mme _____, âgé(e) de _____

ans, titulaire de la carte d'identité n° _____ et domicilié(e) à _____ . J'ai reçu une explication satisfaisante sur la procédure de l'étude, son objectif, ses risques, ses avantages et ses alternatives. Je suis satisfait(e) des informations reçues, je les ai comprises, toutes mes questions ont trouvé une réponse et je comprends que ma participation est volontaire.

Je donne mon consentement à la procédure proposée et je connais mon droit de le retirer quand je le souhaite, avec pour seule obligation d'informer de ma décision le médecin responsable de l'étude.

À Madrid, le _____ de _____ de _____.

Signature et numéro d'enregistrement du chercheur
d'identité
du patient

Signature et numéro

M./Mme _____, âgé(e) de ____ ans, titulaire de la carte d'identité n° _____,
représentant légal de M./Mme _____, âgé(e) de ____ ans, titulaire de la carte d'identité n°
_____,
(...)

Signature et numéro d'identité du représentant légal du patient

M./Mme _____, âgé(e)
de ____, titulaire d'une pièce d'identité _____ et résidant à
_____. J'ai reçu une explication
de la procédure de l'étude, de son objectif, de ses risques, de ses avantages et des alternatives.

Je ne donne pas mon consentement à la procédure proposée.

À Madrid, le _____ de _____ de _____.

Signature et numéro d'identité de l'investigateur :

Signature et numéro d'identité du patient :

M./Mme _____, majeur(e)_____, titulaire de la carte d'identité n° _____,
représentant légal de M./Mme _____, majeur(e)_____, titulaire de la carte d'identité n°
_____,
(...)

Signature et numéro d'identité du représentant légal du patient

Título del estudio: Efecto del entrenamiento en realidad virtual asociado a estímulos somatosensoriales sobre la propiocepción y la neuroplasticidad en futbolistas en rehabilitación tras una reconstrucción del ligamento cruzado anterior.

Promotor: Universidad Europea de Madrid

Investigación: Lucas Thiery y Joris Calamia

Centro: Universidad Europea de Madrid

Le invitamos a participar en un estudio de investigación científica que se lleva a cabo en la Universidad Europea de Madrid, en Villaviso de Odón.

El objetivo de este documento es explicarle el motivo del estudio, sus objetivos, los beneficios y los posibles riesgos relacionados con el mismo. Si después de leer el consentimiento informado tiene alguna pregunta o duda, puede planteársela al equipo de investigación antes de comprometerse. Puede consultar a las personas que considere oportunas sobre su participación.

Resumen del estudio:

Los futbolistas se ven muy afectados por las lesiones del ligamento cruzado anterior y se someten con frecuencia a cirugías de reconstrucción ligamentaria. El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de la realidad virtual asociada a estímulos somatosensoriales sobre la propiocepción y los mecanismos neuroplásticos en comparación con un tratamiento convencional de fisioterapia en jugadores que se han sometido a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Para ello, se crearán dos grupos: un grupo experimental que recibirá un tratamiento de fisioterapia con realidad virtual y estímulos somatosensoriales, y un grupo de control que recibirá un tratamiento de fisioterapia convencional. La intervención tiene una duración de 12 semanas, tras la intervención quirúrgica, con la necesidad de participar cinco veces

por semana: lunes, martes, miércoles, jueves y viernes. Además, será necesaria la presencia en la semana 16 de la intervención.

¿Por qué este estudio?

Las lesiones del ligamento cruzado anterior en futbolistas son frecuentes y se producen numerosas recidivas tras someterse a una cirugía acompañada de un proceso de rehabilitación. Los procesos de rehabilitación actuales siguen siendo insuficientes. Los programas de rehabilitación que se aplican hoy en día para la reeducación de los patrones motores y el control motor siguen siendo insuficientes. La integración de nuevas tecnologías, como la realidad virtual asociada a estímulos, puede desempeñar un papel clave en el desarrollo de la investigación y los avances terapéuticos en los deportistas que sufren esta lesión.

Participación y retirada del estudio

Si decide retirarse del estudio, puede hacerlo autorizando el uso de los datos recopilados hasta ese momento para los fines del estudio o, si lo desea, todos los registros y datos se eliminarán del estudio o, si lo desea, todos los registros y datos se eliminarán de los archivos informáticos.

¿Cuáles son los criterios de elegibilidad para la intervención?

Los participantes deberán cumplir varios criterios:

- Práctica regular de fútbol (mínimo 6 horas semanales)
- Sexo masculino
- Disponibilidad del participante para el estudio
- Edad entre 18 y 35 años
- Documento médico que acredite la reconstrucción del ligamento cruzado anterior

La selección de los participantes se realizará a través de las redes sociales, respondiendo a un cuestionario de elegibilidad (google doc).

¿En qué consiste la participación en el estudio?

La participación incluye la asistencia a las sesiones terapéuticas los lunes, martes, miércoles, jueves y viernes. El participante también deberá presentarse en la semana 16 para la evaluación final.

¿Cuáles son los riesgos y beneficios potenciales de participar en este estudio?

Los riesgos de participar incluyen los riesgos y complicaciones de la rehabilitación fisioterapéutica tras una cirugía del ligamento cruzado anterior, como dolor, afectación psicológica y falta de confianza en uno mismo.

Los beneficios incluyen todos los beneficios potenciales relacionados con la participación en un programa de rehabilitación después de someterse a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior, como la disminución del dolor, el aumento de la amplitud de movimiento, una mejor funcionalidad o la recuperación del control motor.

¿Quién tiene acceso a los datos personales?

El tratamiento, la comunicación y la cesión de los datos personales de todos los participantes se ajustará a lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y Garantía de los Derechos Digitales. De conformidad con la legislación mencionada, usted puede ejercer los derechos de acceso, rectificación, oposición y cancelación de los datos, para lo cual debe consultar a su médico participante en el estudio.

¿La participación en el estudio conlleva una remuneración económica?

No se realizará ninguna compensación económica durante el estudio.

¿Quién es el accionista que financia el estudio?

El promotor del estudio es responsable de la gestión de la financiación.

Para la realización del estudio, el promotor ha firmado un contrato con el centro donde se llevará a cabo

Información importante:

Si decide retirarse de este estudio y exigir que se ponga fin a su consentimiento para participar en él, no se añadirán nuevos datos a la base de datos y podrá exigir la destrucción de sus datos y/o de todos los registros identificables previamente retenidos. Usted puede ser excluido del estudio si los investigadores del estudio lo consideran oportuno, por razones de seguridad, o por cualquier evento adverso que se produzca, o si no cumple con los procedimientos establecidos. Se le dará una explicación adecuada de la razón que motivó su retirada del estudio.

Seguro:

El promotor de este estudio financiará un seguro para proteger a los participantes en caso de daños a la salud o lesiones resultantes de una acción del estudio.

Calidad científica y requisitos éticos del estudio:

Este estudio ha sido sometido a la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Europea de Madrid, Valencia y Canarias, que vela por la calidad científica de los proyectos de investigación que se llevan a cabo en el centro. Cuando la investigación se realiza con personas, este comité vela por el cumplimiento de la Declaración de Helsinki y la legislación vigente en materia de investigación biomédica (Ley 14/2007, de junio, sobre investigación biomédica) y ensayos clínicos (R.D. 223/2004, de 6 de

febrero, por el que se regulan los ensayos clínicos con medicamentos, modificado por el Real Decreto 1276/2011, de 16 de septiembre).

Preguntas:

Cualquier pregunta que tenga será atendida por el equipo de investigación del estudio.

CONSENTIMIENTO INFORMADO :

D./D^a. _____, de _____

años, con DNI y domicilio en

_____ . He recibido una explicación satisfactoria sobre el procedimiento del estudio, su finalidad, riesgos, beneficios y alternativas. He quedado satisfecho/a con la información recibida, la he comprendido, se me han respondido todas mis dudas y comprendo que mi participación es voluntaria. Presto mi consentimiento para el procedimiento propuesto y conozco mi derecho a retirarlo cuando lo desee, con la única obligación de informar sobre mi decisión al médico responsable del estudio.

Firma y Nº de colegiado del investigador **Firma y Nº de DNI**
del paciente

D./D^a. _____, de ___ años, con DNI _____,
representante legal de D./D^a. _____, de ___ años, con DNI
_____,
(...)

Firma y N° de DNI del representante legal del paciente

Sr./Sra. _____, de _____, de edad_____, titular de un documento de identidad _____ y residente en _____.

_____. He recibido una explicación

del procedimiento del estudio, su finalidad, riesgos, beneficios y alternativas.

No doy mi consentimiento al procedimiento propuesto.

En Madrid, a la fecha _____ de _____ de _____.

Firma y DNI del investigador:

Firma y DNI del paciente:

D./D^a. _____, mayor_____, con DNI_____ ,

representante legal de D./D^a. _____, mayor de edad_____, con DNI

_____,

(...)

Firma y número de DNI del representante legal del paciente

Annexe 2 : Prospectus de recrutement

LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR (LCA)

¿LE HAN OPERADO DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR? & ¿QUIERE EXPERIMENTAR UNA REHABILITACIÓN INNOVADORA EN EL MUNDO DE LA FISIOTERAPIA?

PARTICIPE EN NUESTRO ESTUDIO !

Usted es:

- Un hombre de entre 18 y 35 años
- Jugador de fútbol (6 horas a la semana)
- Se ha sometido a una reconstrucción del ligamento cruzado anterior hace menos de dos semanas

Eficacia de un entrenamiento en realidad virtual asociado a estímulos somatosensoriales sobre la propiocepción y la neuroplasticidad en futbolistas en rehabilitación tras una reconstrucción del ligamento cruzado anterior: ensayo controlado aleatorio.



3D rendering of a knee joint with a blue ligament, representing the ACL.

Annexe 3 : Matériels VR, oculus

Le patient est équipé du matériel du casque « Meta Quest 3 » afin de répondre aux exigences de l'étude. Une lunettes tout en un est intégré au sein du casque, avec une interface faciale standard réglable préinstallée. Des manettes « Touch Plus » avec des dragonnes sont incluses dedans. Les verres sont gradués et une personnalisation est disponible pour les patients ayant des troubles oculaires du type myopie, presbyte ou hypermétrope.

Le dispositif est compatible avec MacOS.Sonoma et le logiciel Unity version 6.1. Les réglages seront configurés au préalable dans le logiciel :

- XR/Origin (VR) : Camera Offset, XR Controlled L/R
- XR Interaction Manager : Tookit

De plus, le patient équipé du casque a un rayon de déplacement de quatre mètres



A.



B.

Source Image : Meta.com

A : Meta Quest 3 ; B : Controleurs Touch Plus.

Annexe 4 : Logiciels VR ; Élaboration propre

L'utilisation de la VR est capitale pour mener à bien l'étude, et les patients sont respectivement des sportifs amateur ou semi-professionnel de football. Afin de les immerger dans une expérience les plus réaliste possible, il a été décidé de modéliser en 3D le stade du Real Madrid : Santiago-Bernabéu et y intégrer des jeux de réhabilitation en VR. L'objectif est de réaliser une plateforme de rééducation virtuelle destiné aux joueurs de foot. Le processus a été divisé en deux étapes :

1. Modélisation des fondations du stade sur le logiciel Blender version 4.4.3

Dans le logiciel, le terrain, les colonnes , la végétation, les cages de foot et l'ensemble de l'architecture ont été développé au sein de Blender. Le fichier présenté ci-dessous, a été exporté sous le format « .fbx » de façon brute vers le logiciel Unity version 6.1 auquel les textures du stade ont été appliquée.

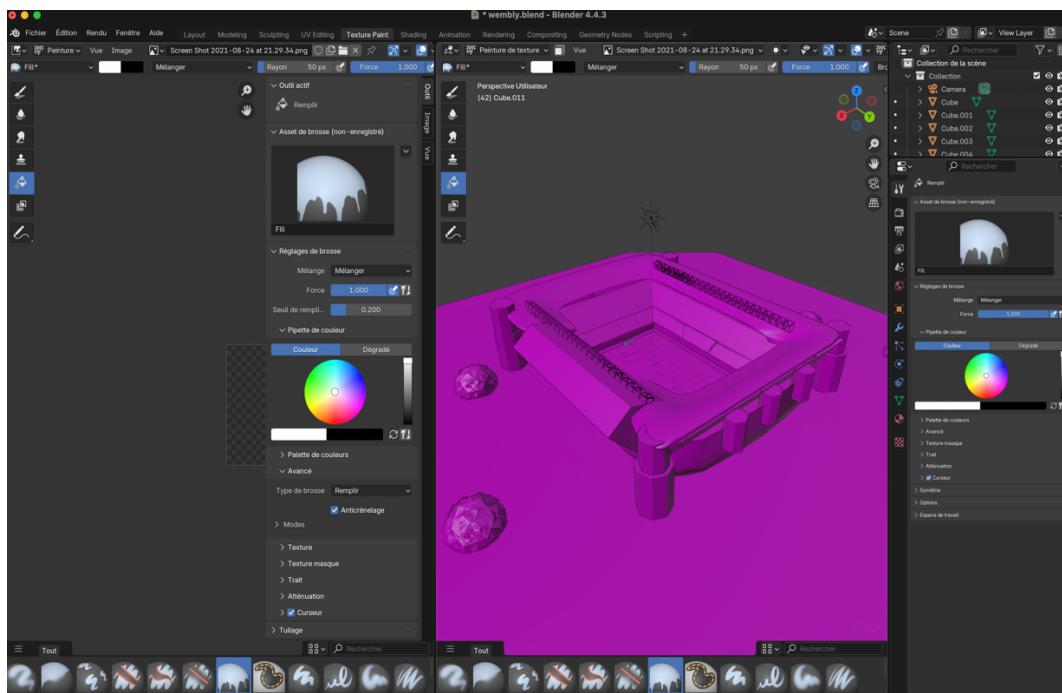


Image logiciel Blender 4.4.3 : Modélisation stade Santiago-Bernabéu, Élaboration propre

Il est nécessaire de préciser que la couleur rose omniprésente sur le stade confirme l'absence des textures.

2. Application des textures du stade sur le logiciel Unity version 6.1

Suite à l'ouverture du fichier .fbx dans Unity provenant du logiciel Blender, il a été réalisé dans un premier temps l'application des textures afin de rendre davantage réaliste le Santiago-Bernabéu via différents paramètres et importation de package. Puis dans un second temps la configuration de la MainVr du mode « Player » pour les patients et rendre accessible le terrain de football. Enfin dans un troisième temps, la mise en place des différents exercices de VR pour le groupe A experimental.

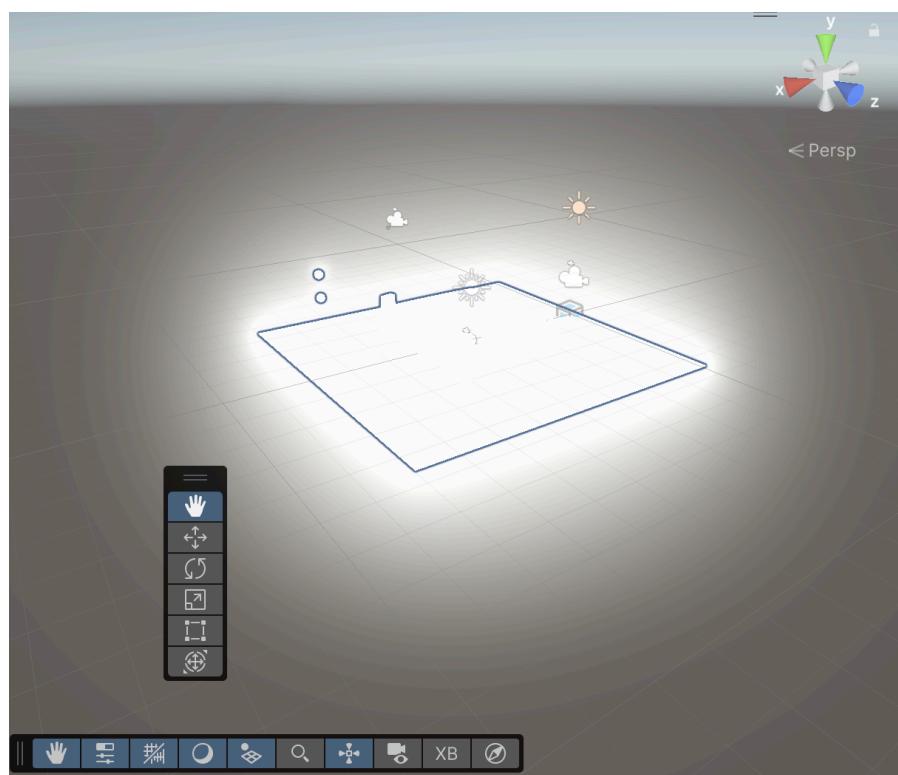


Image logiciel Unity 6.1 : Fin d'exploration du fichier .fbx, Élaboration Propre

La couleur blanche du stade confirme également comme sur le logiciel Blender, l'absence de textures.

3. Présentation finale du stade en image : Unity 6.1

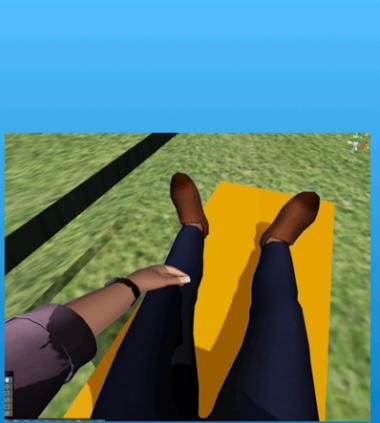


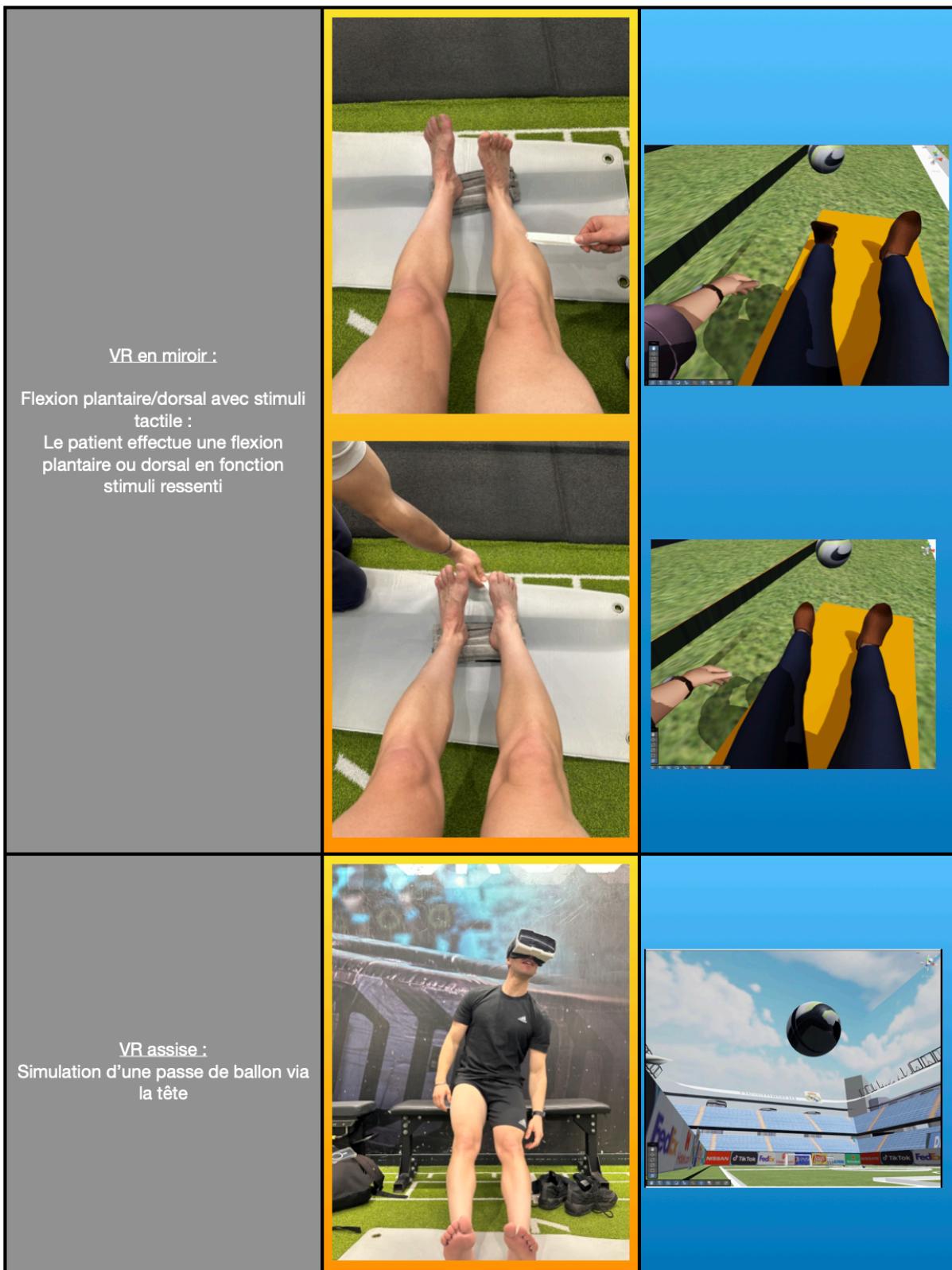
Annexe 5 : Résumé du protocole d'intervention et de la collecte des données-

Élaboration Propre

SEMAINE	JOUR	GROUPES	
		A « Expérimental »	B « Contrôle »
Semaine 0	Samedi	Mesure	
Semaine 1	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 2	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 3	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 4	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 5	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 6	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
	Samedi	Mesure (P)	Mesure (P)
	Dimanche	Mesure (N)	Mesure (N)
Semaine 7	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 8	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 9	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 10	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 11	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
Semaine 12	Lundi,Mardi,Mercredi,Jeudi,Vendredi	Traitements VR et stimuli somato-sensoriels	Traitements de kinésithérapie en réhabilitation conventionnel
	Samedi	Mesure (N)	Mesure (N)
	Dimanche	Mesure (P)	Mesure (P)
Semaine 16	Samedi	Mesure	

Annexe 6 : Photos des exercices en VR du groupe expérimental A. Élaboration propre.

GROUPE A : Expérimental		
<u>Exercice : Semaine 1-2</u>	IRL	VR
<p>VR Contraction isométrique du quadriceps avec retour sonore :</p> <p>Le patient effectue une contraction statique du quadriceps. Grâce à la VR, un son se déclenche uniquement si l'activation est suffisante. Cela favorise l'engagement moteur actif.</p>		
<p>Visualisation miroir avec stimulation tactile :</p> <p>Le patient observe dans la VR la jambe saine se mouvoir (image miroir), pendant qu'on applique une stimulation légère (brosse) sur la jambe opérée.</p>		



<p>VR assise :</p> <p>Transfert de poids surface texturé</p> <p>Un ballon passe en dessous et le patient doit l'esquiver</p>		 
<p>VR Drive/assise :</p> <p>Simulation de conduite une voiture avec stimuli sensorielle</p> <p>Acceleration : stimuli face plantaire Freinage : stimuli face dorsal</p> <p>Source : VR gaming « F1 Racing » Version 3.0 Entreprise : Osztechnologies Plateforme : MetaQuest et Oculus</p>		

GROUPE A : Expérimental

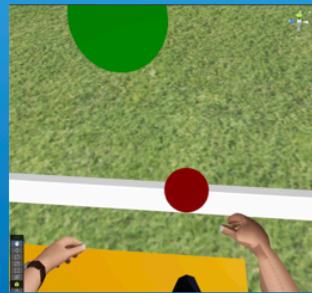
Exercice : Semaine 3-4

IRL

VR

VR appui bipodal :

Surface texturé avec un équilibre à respecter (bande droite) en légère flexion de genou feedback visuel.
La sphère verte s'élève quand le patient respecte l'équilibre et inversement avec la sphère rouge.



VR appui bipodal :

Imitation avatar en miroir sur un tapis sensoriel, le patient se tient debout sur un tapis sensoriel (mousse, picots).
La VR affiche un avatar miroir : s'il se déséquilibre ou charge mal, le feedback visuel devient rouge.



VR mobilisation active :

Extension de genou active avec vibration sur le terrain de football.
Surface texturé.

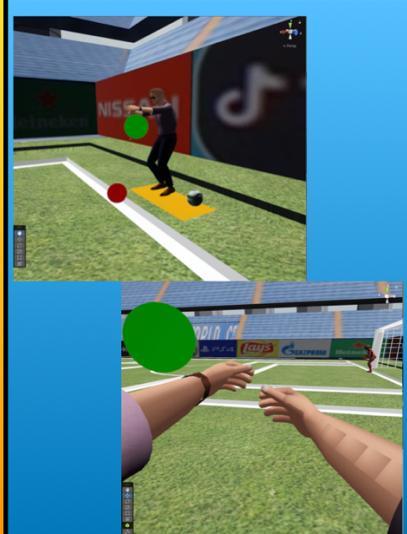


VR rythmique appui bipodal :

Via une mélodie rythmique alternant des sonorités grave ou aigu, associé à une flexion ou extension de genou légère (10-15°) et si le patient perçoit des vibrations on notera une désynchronisation.

1. Un **son grave** est perçu par le patient pour maintenir la flexion de genou.
2. Un **son aigu** est perçu par le patient pour maintenir l'extension de genou.

Un feedback visuel dans la VR est également disponible.



VR Cath :

Reaction manuelle et appui dynamique via une simulation de ballon lancé vers l'écran avec stimuli sonore.

Un avatar est présent pour dynamiser les échanges.



VR postural :

Appui monopodal avec des obstacles antérieur, postérieur ou latéral

Le patient simule une posture correcte en s'adaptant au stimuli visuel des ballons qu'il doit esquiver

Un stimuli vibratoire se déclenche en cas d'échec lorsqu'un ballon touche virtuellement le patient.



GROUPE A : Expérimental

Exercice : Semaine 5-6

IRL

VR

VR appui bipodal :

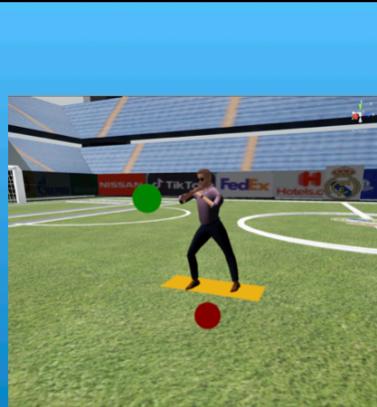
Simulation des gestes techniques de football en statique avec un avatar.
Le ballon ne doit pas sortir du cercle.

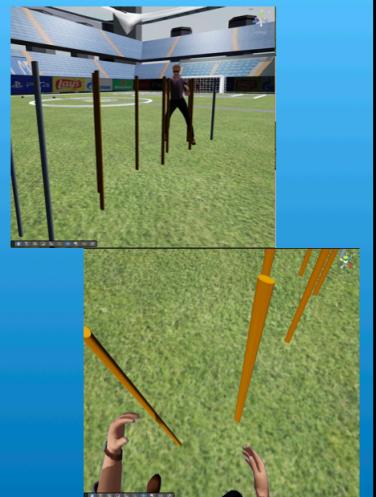
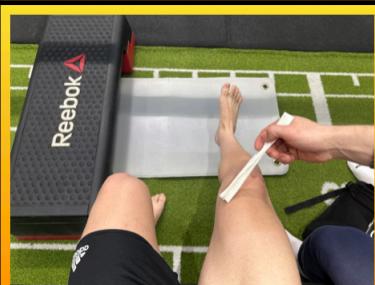
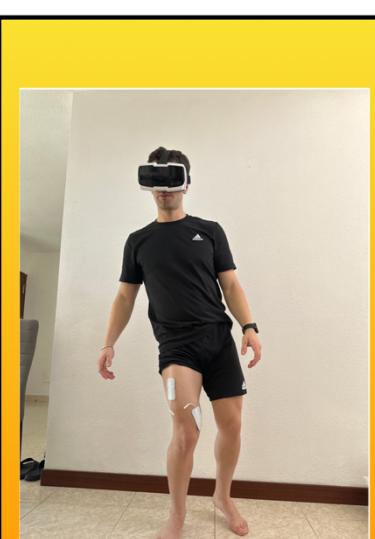
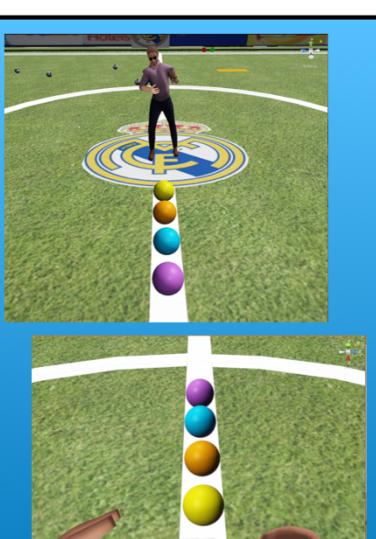


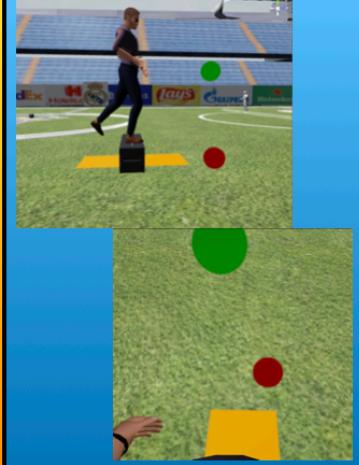
VR appui monopodal :

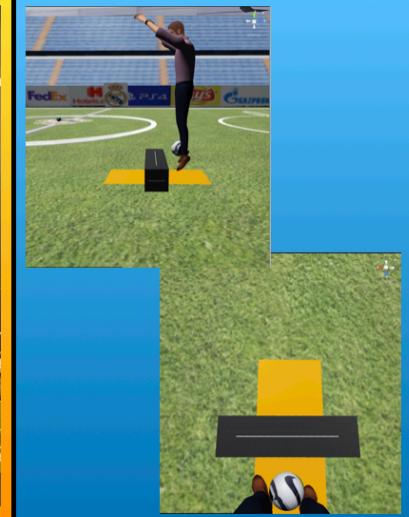
Simulation des gestes techniques de football.
Le patient reproduit des gestes simples (contrôle de balle, appui unipodal) avec retour visuel sur la qualité du geste.



<p>VR reflexe :</p> <p>Réaction à un stimulus sensoriel imprévu en appui bipodal.</p> <p>Debout, le patient réagit à un signal tactile ou sonore (vibration ou bip), en réalisant un pas latéral rapide ou un déplacement spécifique.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Signal sonore - <ol style="list-style-type: none"> 1. Coup de sifflet : droite 2. Ballon frappé : gauche 3. Tribunes : avant 4. Hala Madrid : arrière 		
<p>VR Move :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Appui bipodal transfert latéral en fonction d'un stimuli vibratoire. - Feedback visuel correct ou incorrect. - La sphère verte est maintenue en lévitation lorsque le patient atteint la position souhaitée. 		
<p>VR Play :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jeu de précision avec appui ciblé. - Taper avec le pied sur des cibles qui apparaissent au sol dans la VR, sans perdre l'équilibre - Adaptation en intensité selon les progrès, comme l'augmentation de la vitesse d'exécution. 		

<p>VR Slalom visuel :</p> <p>En VR, le patient suit un parcours visuel sous forme de slalom en maintenant l'équilibre sur une jambe.</p> <p>Un guidage visuel aide à corriger la trajectoire en temps réel.</p>		
<p>VR Mirror :</p> <p>Image inversé chez le patient et stimulus sensoriel pour exécuter une flexion ou extension du genou active.</p>		
<p>VR Cognition Movement :</p> <p>Association de couleur à un mouvement spécifique de la jambe en fonction de la couleur visualisé et stimuli le patient effectue le mouvement d'extension, flexion, varus ou valgus de genoux.</p> <p><i>Jaune : Flexion Orange : Varus Bleu : Valgus Violet : Extension</i></p> <p>Un système de rotation des couleurs est intégré afin d'éviter les mêmes cycles. Un niveau de difficulté plus élevé permet de révéler la couleur de la sphère plus tardivement pour que le patient ne planifie pas à l'avance le mouvement</p>		

GROUPE A : Expérimental		
Exercice : Semaine 7-12	IRL	VR
<p>VR Anticipation feedforward : Mémorisation à court terme d'un geste technique d'un avatar et répétition au signal de départ. Le patient observe un mouvement (VR), puis doit le reproduire en temps réel dès le signal de départ. Peut être combiné avec vibration ou surface instable.</p>		
<p>VR Parcours : Déplacement dans un parcours simulé avec obstacles, zone texturé ou vibrante. Le parcours se compose en trois étapes : 1.Dribles avec un avatar défenseur 2.Slalom avec conduite de balle 3.Tirs au but face à un avatar gardien, au nombre de trois Le contact avec une texture stimule une vibration</p>		
<p>VR et EMG : Avatar et reproduction des tâches des AVQ en temps réel et stimuli sonore pour l'activation musculaire (add, abd, quadriceps, ischios)</p>		
<p>VR Stair : Reception d'un feedback visuel correct ou incorrect de la flexion de hanche lors de la montée d'une marche d'escalier. La sphère verte en lévitation signifie que le patient a une flexion de hanche correct. La sphère rouge signifie le contraire</p>		

<p><u>VR role playing :</u></p> <p>Tout au long de la simulation du gardien de foot, le patient doit préserver un angle fémoral précis en s'adaptant aux stimuli tactile et visuel.</p> <p>Un match de foot virtuel est simulé et l'objectif est d'encaisser le moins de but possible.</p> <p>Le nombre de défenseur et d'attaquants peuvent varier selon la difficulté.</p>		
<p><u>VR Squat :</u></p> <p>Coach virtuel et auditif, positionnement sur un angle de squat demandé via une sonorité.</p> <p>Exemple : le coach annonce un angle de 60°, un feedback visuel et vibratoire est perçu par le patient lorsqu'il a atteint l'objectif.</p>		
<p><u>VR Pilometrie :</u></p> <p>Saut d'obstacle avec un ballon. La taille de l'obstacle peut varier.</p>		

<p>VR Move :</p> <p>Course en triangle, déplacement latéral lors stimuli sonore</p>		
<p>VR Running :</p> <p>Tapis de course 5km/h avec conduite de balle virtuelle sur terrain de football. Le patient doit respecter le tracé blanc en ligne droite avec la conduite de balle.</p>		
<p>VR Running Inverse :</p> <p>Tapis de course 2km/h en marche arrière sur terrain de football et stimuli tactiles pour changer de sens : avant arrière Le patient doit respecter le tracé blanc en ligne droite.</p>		

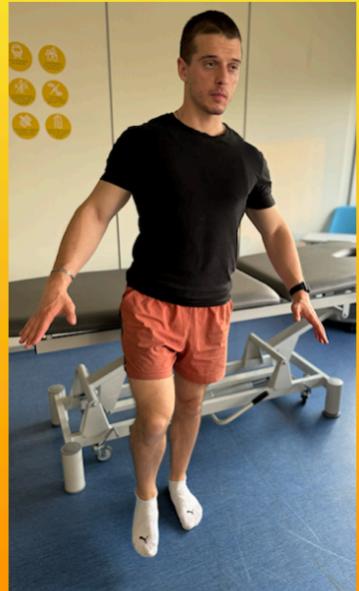
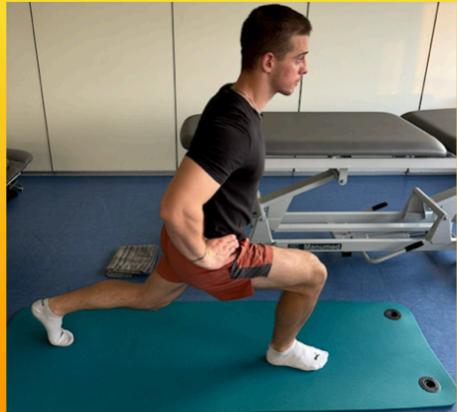
Annexe 7 : Photos des exercices du groupe contrôle B - Élaboration propre

Groupe B : Contrôle	
Exercice : Semaine 1-2	IRL
IRL Contraction isométrique du quadriceps : Le patient contracte le quadriceps en fonction des stimuli tactiles du kinésithérapeute. Il réalise des contractions isométriques pendant 3 secondes.	
IRL Isométrie des ischios-jambiers : Le patient réalise une flexion passive des ischios-jambiers et maintient la contraction isométrique 3 secondes.	
IRL Straight Leg Raise (SLR): Le patient réalise une contraction isométrique du quadriceps et le kinésithérapeute effectue une flexion passive du patient de hanche jusqu'à 30-40° tout en préservant l'extension de genou pendant 3 secondes. La descente s'effectue avec le maintien de la contraction.	

<p>IRL Flexion de genou :</p> <p>En fonction de la tolérance du patient en décubitus dorsal, le patient effectue une glissade du talon grâce à une serviette. La flexion est progressive.</p>	 A photograph showing a male patient lying on his back on a medical examination table. He is wearing a black t-shirt, red shorts, and white socks. His legs are extended straight. A white cloth or towel is滑动在他的右脚的跟部, allowing him to gradually flex his knee. The background shows a clinical setting with yellow safety signs on the wall.
<p>IRL Transfert de poids :</p> <p>Assis sur les tubérosités ischiatiques, le patient réalise des transferts de poids en alternant droit et gauche. Le tronc doit rester stable</p>	 A photograph showing a male patient sitting on the edge of a medical examination table. He is wearing a black t-shirt, red shorts, and white socks. He is leaning forward, holding onto the side of the table with both hands. His right leg is bent, and his left leg is extended downwards. The background shows a clinical setting with a window and some equipment.
<p>IRL Mobilisation patellaire :</p> <p>Le kinésithérapeute effectue des mobilisations passives sur la zone patellaire du membre blessé.</p>	 A photograph showing a male therapist in a blue polo shirt assisting a male patient on a medical examination table. The patient is lying on his back with his right leg extended. The therapist is applying passive mobilizations to the patellar area of the patient's right leg. The background shows a clinical setting with yellow safety signs on the wall.

Groupe B : Contrôle	
Exercice : Semaine 3-4	IRL
<p><u>IRL flexion passive :</u></p> <p>Sur sol glissant par l'intermédiaire d'une serviette, le patient glisse dans l'axe horizontal arrière pour exécuter une flexion passive de genou.</p>	
<p><u>IRL flexion plantaire :</u></p> <p>Sur un appui stable (chaise, table), le patient effectue des flexions plantaire en appui bipodal puis unipodal.</p>	 
<p><u>IRL Hip-trust :</u></p> <p>Le patient prend appui sur les deux talons en simulant une figure de pont. L'appui est stable, et le patient doit maintenir 3 secondes de contraction isométrique.</p>	

<p><u>IRL Rééducation à la marche :</u></p> <p>IRL à laide des béquilles, ne pas charger à 50 % sur la jambe lésée.</p>	
<p><u>IRL, TRX squat :</u></p> <p>Total Résistance eXercices sous le format de squat. Le patient tient la sangle TRX dans chacune de ses mains, permettant une assistance en suspension lors du mouvement de squat.</p>	
<p><u>IRL TRX fentes :</u></p> <p>Total Résistance eXercices sous le format de fentes. Une jambe en appui au sol et l'autre jambe en arrière le patient maintient la sangle TRX. Le corps descend en fente, buste droit puis remontée contrôlée.</p>	

Groupe B : Contrôle	
Exercice : Semaine 5-6	IRL
<p><u>IRL Trendeleburg :</u></p> <p>Le patient laisse descendre la hanche opposé puis la remonte. Il doit contrôler le mouvement de montée et de descente. Le bassin doit rester horizontal.</p>	
<p><u>IRL Fentes :</u></p> <p>Fentes sur surface stable, le genou opposé doit toucher la surface.</p>	
<p><u>IRL S.E.B.T :</u></p> <p>Star exécution balance test, le patient doit former le Y selon le tracé au sol. L'objectif est d'atteindre la plus grande longueur .</p>	

IRL Squat Bipodal :

A 90 °, selon la tolérance du patient,
maintenir 3 secondes la position isométrique
puis remonter à la position initial



IRL Rééducation à la marche :

Charger sur la jambe lésée à l'aide des
béquilles jusqu'à ne plus les utiliser.



IRL Squat Mono :

En position monopodal, le patient descend
en dessous de la parallèle puis remonte.



IRL extension de hanche :

Extension unilatéral sur poulie, en formant un angle maximal de 45°.
Le buste doit rester stable



Groupe B : Contrôle**Exercice : Semaine 7-12****IRL**IRL Hip-trust monopodal :

Le patient prend appui sur la jambe lésée en simulant une figure de pont.
Le patient maintient la contraction isométrique 5 secondes

IRL Trendelenburg :

Sur une surface instable, le patient laisse descendre la hanche opposé puis la remonte.
Il doit contrôler le mouvement de montée et de descente.
Le bassin doit rester horizontal

IRL Leg extension :

Système de poulie en chaîne cinétique ouverte



IRL Atterrissage contrôlé :

Le patient débute sur un bloc en hauteur de 50 cm minimum et doit exécuter un saut afin de se réceptionner en premier sur la pointes des pied.



IRL Saut à la corde :

Pilometrie avec corde à sauté
30 sauts : 1 série
Le patient comptabilise le nombre de tentatives.



IRL Role playing :

Position du gardien de foot, arrêt de penalty,
accentuation sur les réflexes



IRL Trendelenburg :

Simulation de passe de balle avec un ballon.



IRL Salom :

Exercices de coordination et d'agilité, sur un parcours d'obstacle avec ballon



IRL Planche :

Avec extension de hanche
Un poids à la cheville peut être ajouté pour adapter la difficulté au patient .



IRL Running :

Rééducation à la course/marche avec conduite de balle sur tapis de course à 5km/h



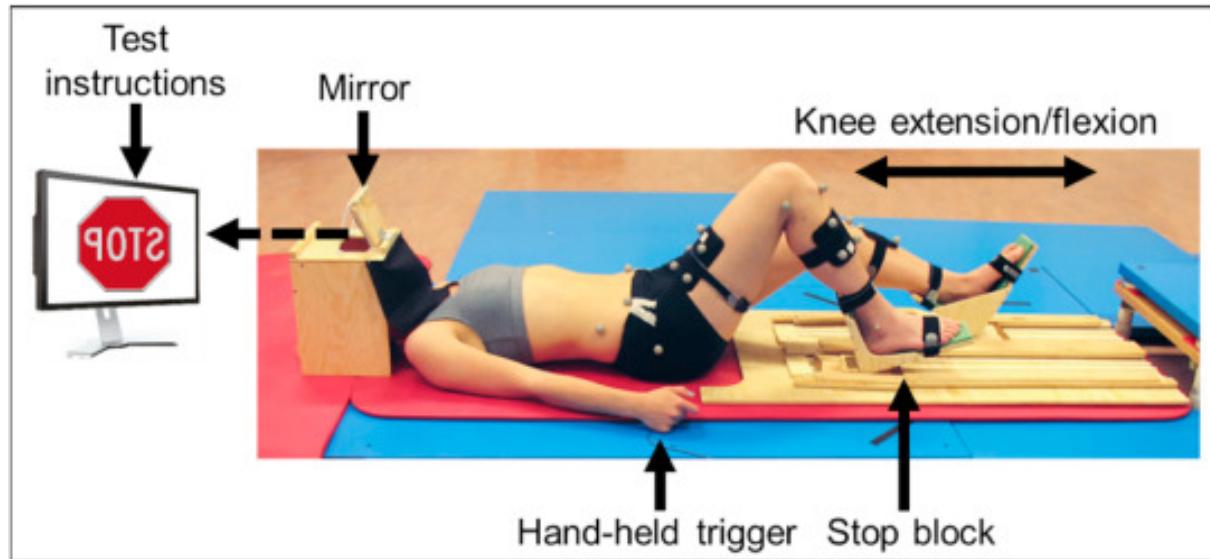
IRL Nordic hamstrings :

Exercice excentrique ciblant les ischios-jambiers,
Le patient débute en position à genoux avec le buste droit et doit aller vers l'avant en gardant les hanches alignées tout au long du freinage lors de la descente.
Puis remonte à la position initial.



Annexe 8 : Joint position sense test

- Décubitus dorsal :



- Appui bipodal :



Annexe 9 : Questionnaire Neuroplasticité sur une échelle Likert- Elaboration propre.

Lien espagnol : <https://fr.surveymonkey.com/r/H6LY9MJ>

Evaluation des effets neurofonctionnelles chez les patients ayant subi une ACLR.

1. Questionnaire à remplir après la TMS.

Dans cette section, vous devez répondre aux affirmations sous forme d'échelle de Likert, **un seul choix de réponse** est attendu pour chacune des **10 affirmations**.

"**Tout à fait d'accord**" étant la réponse auquel vous approuver pleinement l'affirmation.

"**Pas du tout d'accord**" étant la réponse auquel vous n'aprouvez en aucun cas l'affirmation.

* 1. **J'ai ressenti une amélioration dans ma capacité à mieux contrôler les mouvements de mon genou.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifférent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 2. **Je suis capable d'ajuster plus rapidement ma posture ou mes gestes face à un déséquilibre.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifférent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 3. **Je sens que ma jambe opérée s'intègre mieux dans mes schémas moteurs habituels.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifférent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 4. **J'ai davantage confiance en mes capacités à apprendre ou réapprendre des mouvements complexes, notamment dans le milieu sportif.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifferent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 5. **Je ressens moins d'appréhension avant de faire un mouvement rapide dans les membres inférieurs.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifferent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 6. **Je me sens plus à l'aise pour marcher sur différentes surfaces (herbe, sable,dur mou, texturé,humide).**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifferent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 7. **Je dois toujours réfléchir avant chaque début de mouvement.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifferent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 8. **J'ai des difficultés à sentir la position de ma jambe opérée dans l'espace.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifférent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 9. **Ma capacité à adapter mes mouvements en fonction de l'environnement ne progresse pas.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifférent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

* 10. **Je ne remarque pas de transferts des compétences apprises dans les exercices vers la vie quotidienne.**

- Tout à fait d'accord
- Plutôt d'accord
- Indifférent
- Plutôt pas d'accord
- Pas du tout d'accord

Terminé

Annexe 10 : Tampa Scale for Kinésophobia (TSK-17)

- Version française :

Evaluation de l'indice de kinésiophobie

ÉCHELLE TAMPA (TSK-CF)

(Kori et al., 1990, traduite par GRISART & MASQUELIER, Cliniques Universitaires Saint-Luc, 1200 Bruxelles)

Même à cette époque de haute technologie, il ne faut pas négliger une des plus importantes sources d'information à votre sujet : il s'agit de vos sentiments ou de vos intuitions à propos de ce qui arrive à votre corps.

Répondez aux questions suivantes en utilisant l'échelle de droite. Répondez vraiment en fonction de votre impression et pas en fonction de ce que les autres pensent que vous devriez croire. Il ne s'agit pas d'un test de connaissance médicale. Nous voulons savoir comment vous voyez les choses.

	Consignes : Veuillez lire attentivement chaque question et encercler le numéro qui correspond le mieux à ce que vous ressentez.	Fortement en désaccord	Légèrement en désaccord	Légèrement en accord	Fortement en accord
1.	J'ai peur qu'en faisant de l'exercice, cela ne me blesse.	1	2	3	4
2.	Si je vais au-delà de mes limites pour dépasser la douleur, elle pourrait augmenter.	1	2	3	4
3.	Mon corps me dit que quelque chose ne va pas et que cela constitue un danger pour lui.	1	2	3	4
4.	Ma douleur serait probablement diminuée si je faisais de l'exercice. *	1	2	3	4
5.	Les gens ne prennent pas mon état de santé suffisamment au sérieux.	1	2	3	4
6.	Mon accident a fragilisé mon corps pour le reste de ma vie.	1	2	3	4
7.	La douleur signifie qu'il y a toujours une lésion.	1	2	3	4
8.	Ce n'est parce que quelque chose aggrave ma douleur que cela signifie que c'est dangereux *	1	2	3	4
9.	J'ai peur de me faire mal ou de me blesser par mégarde.	1	2	3	4
10.	En étant attentif à ne faire que des gestes adéquats, je peux éviter d'augmenter la douleur.	1	2	3	4
11.	Le maintien d'une telle douleur signifie que j'ai probablement quelque chose de grave.	1	2	3	4
12.	Malgré ma douleur, je serais mieux si j'avais plus d'activités physiques. *	1	2	3	4
13.	La douleur me fait savoir quand je dois arrêter mes exercices afin de ne pas entraîner des dommages corporels.	1	2	3	4
14.	Ce n'est pas vraiment très bon pour une personne dans un état comme le mien d'être physiquement active.	1	2	3	4
15.	Je ne peux pas tout faire comme les autres, sinon cela pourrait causer des lésions dans mon organisme.	1	2	3	4
16.	Même si certaines choses entraînent une douleur, je ne pense pas qu'elles soient réellement dangereuses. *	1	2	3	4
17.	Personne ne devrait faire de l'exercice lorsqu'il(elle) a mal.	1	2	3	4

Instrucciones : Lea atentamente cada pregunta y marque con un círculo el número que mejor describa su opinión.

		en desacuerdo	ligeramente en desacuerdo	ligeramente de acuerdo.	Totalmente de acuerdo
1.	Tengo miedo de que hacer ejercicio me haga daño	1	2	3	4
2.	Si voy más allá de mis límites para superar el dolor, éste podría aumentar	1	2	3	4
3.	Mi esófago me está diciendo que algo va mal y que supone un peligro para él. peligro.	1	2	3	4
4.	Probablemente mi dolor se reduciría si hiciera ejercicio. '	1	2	3	4
5.	La gente no se toma suficientemente en serio mi estado de salud.	1	2	3	4
6.	Mi accidente dejó mi cuerpo frágil para el resto de mi vida.	1	2	3	4
7.	El dolor significa que siempre hay una lesión.	1	2	3	4
8.	Que algo empeore mi dolor no significa que sea peligroso. que sea peligroso *	1	2	3	4
9.	Tengo miedo de hacerme daño o de lesionarme accidentalmente.	1	2	3	4
10.	Teniendo cuidado de hacer sólo las cosas correctas, puedo evitar que aumente el dolor. dolor.	1	2	3	4
11.	Mantener tanto dolor significa que probablemente tengo algo grave. grave.	1	2	3	4
12.	A pesar de mi dolor, estaría mejor si hiciera más actividad física.	1	2	3	4
13.	El dolor me permite saber cuándo debo dejar de hacer ejercicio para no causar daño a mi cuerpo.	1	2	3	4
14.	No es bueno que alguien en un estado como el mío sea físicamente activo. ser físicamente activo.	1	2	3	4
15.	No puedo hacer todo igual que los demás, o podría causar problemas en mi organización.	1	2	3	4
16.	Aunque ciertas cosas causen dolor, no creo que sean realmente peligrosas. peligrosas. "	1	2	3	4
17.	Nadie debe hacer ejercicio cuando siente dolor.	1	2	3	4

Annexe 11 : L'échelle Numeric Pain Rating Scale(NPRS)

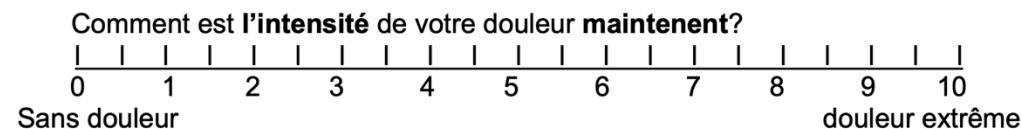
- Version française :

PAIN RATING SCALE

(French)

Title: Date:
 Name: Patient number:
 Surname: Clinic:

Veuillez marquer sur le bilan dessous pour démontrer l'intensité de la douleur.
 Un zero (0) signifie sans douleur, un dix (10) signifie la douleur extrême.

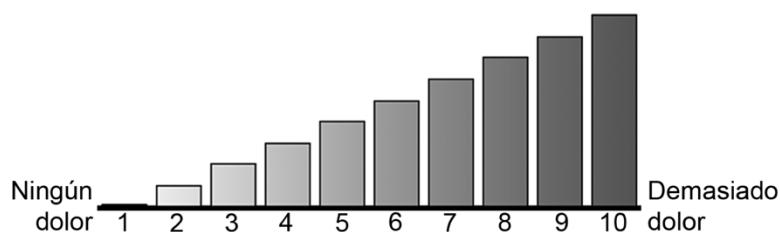


- Version espagnole :



Spanish Pain Visual Numeric

Por favor marque en la escala de abajo el número que mejor describa la intensidad de su dolor durante la última semana:



Annexe 12 : Questionnaire McGill sur la douleur version abrégé (SF-MPQ)

- Version française :

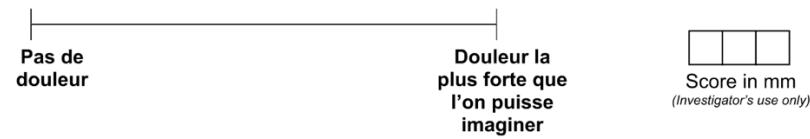
Questionnaire de McGill sur la douleur: version abrégée (SF-MPQ)

A. Veuillez décrire le type de douleur que vous avez eu au cours de cette dernière semaine. (Cochez (X) une case par ligne.)

	Pas cet aspect de la	Légère	Modérée	Forte
1. Qui élance	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
2. Fulgurante	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
3. Comme des coups de poignard	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
4. Vive	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
5. Pareille à une crampe	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
6. Qui vous ronge physiquement	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
7. Chaude – brûlante	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
8. Sourde	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
9. Qui pèse	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
10. Sensible au toucher	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
11. Qui vous réduit en miettes	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
12. Fatigante – épuisante	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
13. A donner la nausée	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
14. Angoissante	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
15. Eprouvante – cruelle	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3

B. Veuillez évaluer votre douleur au cours de cette dernière semaine.

La ligne ci-dessous représente l'intensité grandissante de la douleur, allant de "pas de douleur" à "douleur la plus forte que l'on puisse imaginer". Faites un trait vertical (|) sur la ligne à l'endroit qui indique le mieux la force de votre douleur **au cours de cette dernière semaine.**



C. INTENSITE ACTUELLE DE VOTRE DOULEUR.

- 0 Pas de douleur
- 1 Légère
- 2 Modérée
- 3 Forte
- 4 Très forte
- 5 Insupportable

- Version espagnole :

Nombre:	<input type="text"/>
Apellidos:	<input type="text"/>
Otros datos:	<input type="text"/>
Fecha: <input type="text"/>	
Datos del Hospital: <input type="text"/>	

Cuestionario de Dolor McGill (SF-MPQ)

Indique sus sensaciones y sentimientos en el momento actual. Antes de finalizar, puntúe la intensidad de su dolor sobre la línea y déle una calificación respecto a las opciones expuestas.

A. DESCRIBA SU DOLOR DURANTE LA ÚLTIMA SEMANA.

(Marque una casilla en cada linea)

	No	Leve	Moderado	Severo
1. Como pulsaciones	0	1	2	3
2. Como una sacudida	0	1	2	3
3. Como un latigazo	0	1	2	3
4. Pinchazo	0	1	2	3
5. Calambre	0	1	2	3
6. Retortijón	0	1	2	3
7. Ardiente	0	1	2	3
8. Entumecimiento	0	1	2	3
9. Pesado	0	1	2	3
10. Escozor	0	1	2	3
11. Como un desgarro	0	1	2	3
12. Que consume	0	1	2	3
13. Que marea	0	1	2	3
14. Terrible	0	1	2	3
15. Que atormenta	0	1	2	3

B. VALORE SU DOLOR DURANTE LA ÚLTIMA SEMANA

La línea presentada a continuación representa el dolor en orden creciente de intensidad, desde "Sin Dolor" hasta "Máximo dolor imaginable". Marque con una línea (—) la posición que mejor describa su dolor durante la última semana.

Score in mm
(investigator's use only)

Semana

Sin Dolor	<input type="text"/>	Máximo Dolor Imaginable
-----------	----------------------	-------------------------

C. INTENSIDAD DEL DOLOR EN ESTE MOMENTO.

- 0 - Nada de dolor
- 1 - Leve
- 2 - Molesto
- 3 - Intenso
- 4 - Horrible
- 5 - Insufrible

Annexe 13 : Google forme

- Version française :

Lien : https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeo676JhFGBR9-Qei6Rw4m8oxWiVAYEhHzmXCF2RQrSy_FcHw/viewform?usp=header

EFFICACITÉ D'UN ENTRAÎNEMENT EN RÉALITÉ VIRTUEL ASSOCIÉ À DES STIMULI SOMATO-SENSORIELS SUR LA PROPRIOCEPTION ET LA NEUROPLASTICITÉ CHEZ LES FOOTBALLEURS EN RÉHABILITATION D'UNE RECONSTRUCTION LIGAMENT CROISÉ ANTERIEUR

B I U ↵ X

Ce formulaire est destiné aux personnes désirant participer à cette étude, comparant l'efficacité d'un entraînement en réalité virtuel associé à des stimuli somato-sensoriels sur la proprioception et la neuroplasticité chez les footballeurs en réhabilitation d'une reconstruction du ligament croisé antérieur, à un traitement kinésithérapeutique conventionnel.

Après avoir rempli ce questionnaire, vous serez contacté pour l'approbation à la participation de l'étude.

La participation à cette étude requiert :

- Un âge compris entre 18 à 35 ans
- Une reconstruction du ligament croisé antérieur datant de moins d'une semaine
- Sexe masculin
- Pratique du football supérieur à 6h/semaine, avant la lésion de niveau amateur ou semi-professionnel

La participation à cette étude vous y est restreint si :

- Affectation chronique ou aiguë, en dehors du foyer de lésion
- Antécédent neurologique
- Trouble musculo-squelettique
- Déficience cognitive
- Chirurgie antérieure du LCA
- Infiltration antérieure ces trois derniers mois
- Trouble sensoriel, visuel, auditif
- Inclusion dans un autre protocole de recherche

Toutes les données fournis, seront protégées par le secret médical, et utilisées dans le cadre de l'étude de manière confidentielle.
Merci pour votre confiance.

Pourriez-vous adhérer au traitement tout au long de l'étude ? *

- Oui, je serai là.
- Non, je ne serais pas là

Quel âge avez-vous ? *

- 18-35 ans
- Autre

Avez-vous approuvé le consentement éclairé ?

- Oui
- Non

Avez-vous subi une reconstruction du LCA cette dernière semaine ?

- Oui
- Non

Pratiquez-vous du foot au moins 6h/semaine ?

- Oui
- Non

Avez-vous des maladies chroniques ?

- Oui
- Non

Avez-vous eu une reconstruction du LCA auparavant ?

- Oui
- Non

Faites-vous partie d'autres protocoles de recherche ?

- Oui
- Non

- Version espagnole :

Lien :<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdrWOv8Gctu2NWH0iWqQsTUJztGu1VOumzilpjWrw7aocOi5w/viewform>

EFICACIA DE UN ENTRENAMIENTO DE REALIDAD VIRTUAL ASOCIADO A ESTÍMULOS SOMATO-SENSORIALES SOBRE LA PROPIOCEPCIÓN Y LA NEUROPLASTICIDAD EN FUTBOLISTAS EN REHABILITACIÓN DE UNA RECONSTRUCCIÓN DEL LIGAMENTO CRUZADO ANTERIOR

Este formulario está destinado a personas que deseen participar en este estudio, comparando la eficacia de un entrenamiento en realidad virtual asociado a estímulos somatosensoriales sobre la propiocepción y la neuroplasticidad en futbolistas en rehabilitación de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior, con un tratamiento fisioterapéutico convencional.

Después de completar este cuestionario, se le contactará para la aprobación de la participación en el estudio.

La participación en este estudio requiere:

- Una edad entre 18 y 35 años
- Una reconstrucción del ligamento cruzado anterior de menos de una semana
- Sexo masculino
- Práctica de fútbol superior a 6 horas/semana, antes de la lesión de nivel amateur o semiprofesional

La participación en este estudio está restringida si:

- Afectación crónica o aguda, fuera del foco de lesión
- Antecedentes neurológicos
- Trastorno musculoesquelético
- Deficiencia cognitiva
- Cirugía previa del LCA
- Infiltración previa en los últimos tres meses
- Trastorno sensorial, visual, auditivo
- Inclusión en otro protocolo de investigación

Todos los datos proporcionados estarán protegidos por el secreto médico y se utilizarán en el marco del estudio de forma confidencial.

Gracias por su confianza.

¿Podría adherirse al tratamiento a lo largo del estudio? *

- Si
- No

Cuantos años tienes ? *

- 18-35 años
- Otro

¿Ha aprobado el consentimiento informado?

- Si
- No

¿Ha sufrido una reconstrucción del LCA la semana pasada?

- Si
- No

¿Practicas fútbol al menos 6 horas a la semana?

- Si
- No

¿Tiene enfermedades crónicas?

- Si
- No

¿Ha tenido una reconstrucción del LCA antes?

- Si
- No

¿Ha recurrido a infiltraciones en los últimos tres meses?

- Si
- No

¿Es usted parte de otros protocolos de investigación?

- Si
- Non

Envoyer

Effacer le formulaire