



**HAL**  
open science

**L'intérêt de la réalité virtuelle dans la rééducation de la  
marche et de l'équilibre chez le blessé médullaire  
incomplet**  
Aline Caviglia

► **To cite this version:**

Aline Caviglia. L'intérêt de la réalité virtuelle dans la rééducation de la marche et de l'équilibre chez le blessé médullaire incomplet. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03081745

**HAL Id: dumas-03081745**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03081745>**

Submitted on 18 Dec 2020

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

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

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ  
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION  
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

**L'INTERET DE LA REALITE VIRTUELLE  
DANS LA REEDUCATION DE LA MARCHE  
ET DE L'EQUILIBRE CHEZ LE BLESSE  
MEDULLAIRE INCOMPLET**

**CAVIGLIA Aline**

**Directeur de mémoire : M. ROSTAGNO**

# REMERCIEMENTS

Ce mémoire est l'aboutissement de nombreuses heures de travail et la fin de mes 4 années d'études à l'IFMK.

Je tiens à remercier mon directeur de mémoire, Stephan ROSTAGNO, pour m'avoir guidée tout au long de ce travail.

Je remercie les professeurs de l'IFMK pour leur enseignement au cours de ces 4 années.

Je remercie mes parents pour leur soutien moral et financier.

Je tiens à remercier Maud pour son accompagnement pendant cette période et notre soutien mutuel dans la rédaction de ce mémoire.

Merci à mes proches, à ma sœur, à mon copain, à l'ensemble du groupe 2, à mon binôme de TP Barbara, pour leur soutien pendant les périodes d'examens et pour les moments passés ensemble tout au long de l'année.

# Table des matières

1	– INTRODUCTION .....	1
1.1	La lésion médullaire.....	3
1.1.1	Description de la pathologie .....	3
1.1.2	Lésion médullaire incomplète .....	4
1.1.3	Les symptômes .....	5
1.1.4	Rééducation .....	6
1.2	La marche .....	8
1.2.1	Définition.....	8
1.2.2	Les tests de marche.....	8
1.3	L'équilibre .....	9
1.3.1	Définition.....	9
1.3.2	Evaluation de l'équilibre.....	11
1.4	La réalité virtuelle .....	12
1.4.1	Description .....	12
1.4.2	Avantages de la RV pour la rééducation motrice.....	14
1.4.3	Hypothèse théorique .....	15
1.5	Pourquoi est-ce important de faire cette revue ?.....	15
2	– METHODOLOGIE .....	16
2.1	Stratégie de recherche .....	16
2.2	Bases de données .....	16
2.3	Critères de sélection .....	16
2.3.1	Etude : .....	16
2.3.2	Population : .....	17
2.3.3	Intervention : .....	17
2.3.4	Comparateur : .....	17
2.3.5	Critères de jugement : .....	17
2.4	Mots clés utilisés .....	18
2.5	Sélection des études.....	18
2.6	Modalité d'évaluation de la qualité des études .....	19
2.7	Extraction des données .....	19
2.8	Méthode de synthèse des résultats .....	19

3	– RESULTATS .....	20
3.1	Description des études .....	20
3.1.1	Diagramme de flux .....	20
3.1.2	Etudes exclues .....	21
3.1.3	Etudes incluses.....	22
3.2	Risques de biais des études incluses.....	24
3.2.1	Grille d’analyse utilisée .....	24
3.2.2	Synthèse des biais retrouvés.....	25
3.3	Effets de l’intervention .....	27
3.3.1	Critère de jugement principal .....	27
3.3.2	Critère de jugement secondaire.....	29
4	– DISCUSSION.....	32
4.1	Analyse des principaux résultats .....	32
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique .....	35
4.3	Qualité des preuves.....	36
4.4	Biais potentiels de la revue.....	37
5	– CONCLUSION.....	39
5.1	Implication pour la pratique clinique .....	39
5.2	Implication pour la recherche .....	39

# 1 – INTRODUCTION

Notre rôle auprès des patients en tant que kinésithérapeute consiste essentiellement à la réalisation d'une rééducation dans le but de redonner le plus d'autonomie possible aux patients afin qu'ils puissent atteindre leurs objectifs.

Certains actes de la vie quotidienne paraissant pourtant simples peuvent se complexifier lors d'une déficience motrice suite à une lésion neurologique.

Lors d'une lésion de la moelle épinière, dans environ 50% des cas les fonctions motrices et sensorielles sont préservées en dessous du niveau de la lésion entraînant une lésion incomplète de la moelle épinière, cependant elle entraîne souvent un dysfonctionnement moteur durable des membres inférieurs associé à une série de problèmes physiques et psychosociaux, y compris la douleur, qui sont difficiles à traiter. [1]

L'impact sur les fonctions motrices des membres inférieurs entraîne des limitations de la marche et des restrictions de participation aux activités de la vie quotidienne.

La récupération des capacités motrices est souvent un processus lourd et lent.

Les personnes atteintes de lésion médullaire incomplète mentionnent couramment la récupération de la fonction de marche comme objectif ultime de la réadaptation. Cependant, une mauvaise fonction d'équilibre en position debout est l'un des principaux facteurs qui conduisent à une altération de la fonction de marche.

Le but ultime de la rééducation est de maximiser leur indépendance dans tous les aspects de la vie, compte tenu des limites imposées par leur blessure. Le rétablissement de la capacité d'équilibre en position debout ainsi que de la fonction de la marche sont donc des objectifs principaux et essentiels des programmes de réadaptation des personnes souffrant d'une lésion médullaire incomplète.

Mais comment récupérer ces fonctions qui ont été touchées ?

Le système nerveux central des personnes atteintes d'une lésion médullaire incomplète est susceptible de se réorganiser de manière substantielle car les circuits corticaux, sous-corticaux et une grande partie des circuits locaux de la moelle épinière restent largement intacts et encore partiellement interconnectés par des fibres non liées. [2]

Cette réorganisation supra-spinale est appelée plasticité ; mais comment la stimuler ?

Ces dernières années, la médecine a modernisé ses techniques et ses pratiques thérapeutiques, grâce à l'utilisation de diverses méthodes modernes qui sont dues aux progrès de la technologie et des sciences.

La thérapie par réalité virtuelle (RV) a été utilisée efficacement dans le domaine de la médecine de réadaptation et offre l'avantage de créer de multiples entrées sensorielles et des approches spécifiques aux tâches en créant un environnement virtuel similaire à celui du monde réel.

La RV a l'avantage de fournir des performances en temps réel et un stimulus gradué, tout en augmentant l'attention et la motivation des patients. [3]

Grâce à ces scénarios virtuels, le système nerveux central reçoit un feedback sensoriel accru, qui est capable de produire des changements dans la plasticité synaptique, pour renforcer l'apprentissage moteur.

L'entraînement à la RV active le système neuronal miroir, le cortex préfrontal (CPF), les zones corticales pariétales et d'autres réseaux corticaux moteurs, ce qui entraîne une réorganisation des neurones dans le cortex cérébral qui, à son tour, améliore l'équilibre et la capacité d'orientation spatiale et augmente la fonction de mouvement.

Des études ont suggéré un rôle de la RV dans l'augmentation de l'oxygénation dans le CPF du cerveau tout en effectuant des tâches d'équilibrage progressif. Un stimulus sensoriel multimodal provoque un bombardement neural sur la moelle épinière endommagée afin de provoquer une réorganisation neurophysiologique et structurelle des voies concernées. [4]

Malgré l'importance du rétablissement des capacités de synchronisation posturale et de mouvement, il existe un manque général de connaissances concernant les types d'interventions les plus appropriées pour les patients souffrant de handicaps physiques dus à un déficit neurologique. Cette population n'a pas été une cible principale pour les recherches expérimentales (basées sur des preuves), peut-être en raison de la nature complexe des déficiences physiques, ce qui rend difficile la constitution d'un groupe expérimental homogène relativement standardisé.

La réadaptation conventionnelle néglige souvent la coordination des mouvements du corps entier, et comme alternative, se concentre sur des programmes distincts de réadaptation de la démarche, de la posture et de la fonction des membres supérieurs.

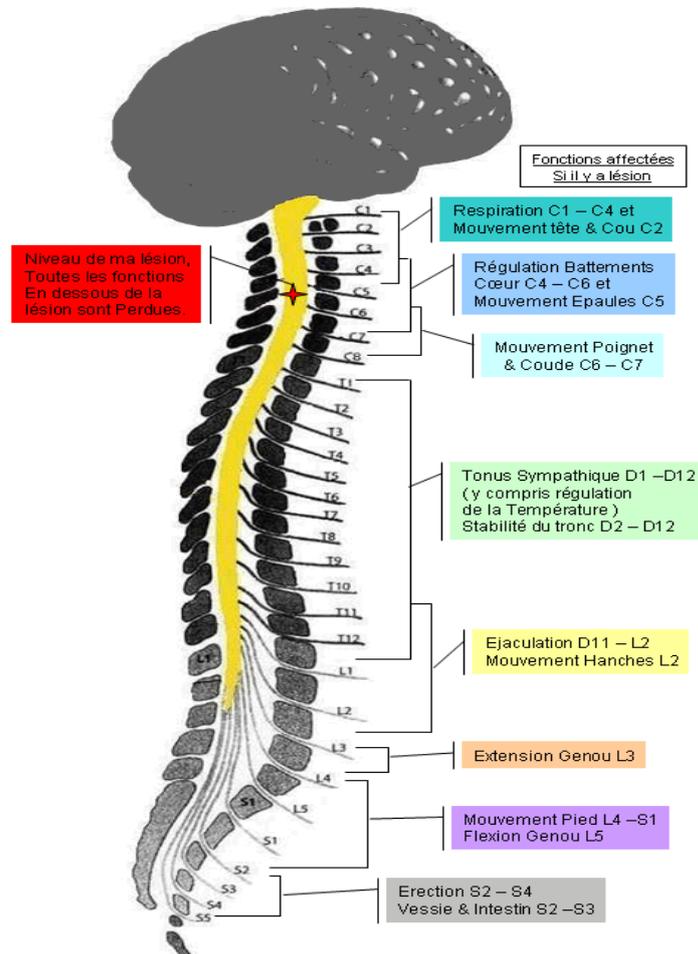
L'absence de thérapies qui se concentrent sur le fonctionnement du corps entier finit par limiter l'amélioration fonctionnelle des activités de la vie quotidienne et le retour lié à une vie productive, constructive et significative. [5]

La thérapie par réalité virtuelle peut-elle améliorer la récupération des fonctions motrices ?

Cette revue de littérature a pour but de faire un état des lieux sur les articles publiés dont les auteurs étudient l'intérêt de la réalité virtuelle dans la rééducation de la marche et de l'équilibre chez les personnes atteintes d'une lésion médullaire incomplète.

## 1.1 La lésion médullaire

### 1.1.1 Description de la pathologie



La moelle épinière est la partie du système nerveux central qui se situe à l'intérieur de la colonne vertébrale. C'est une structure essentielle aux fonctions motrices et sensibles de notre corps. Une lésion de la moelle épinière coupe la communication entre le cerveau et le corps entraînant la paralysie totale ou partielle des membres et du tronc.

L'étendue de la paralysie dépend de la localisation de la lésion dans la colonne vertébrale et de sa gravité. Une lésion basse (au niveau des vertèbres thoraciques et lombaires) entraîne une paraplégie, c'est-à-dire une paralysie des membres inférieurs et du tronc selon la hauteur de l'atteinte ; tandis qu'une lésion haute (au niveau des vertèbres cervicales) entraîne une tétraplégie, soit une paralysie des quatre membres et du tronc.

La lésion affecte la motricité mais aussi le fonctionnement des organes qui se trouvent sous le niveau de la lésion, notamment la vessie et les intestins.

Elle affecte également la sensibilité dans les régions du corps situées en dessous du niveau de la lésion. [6]

L'évolution de la pathologie se fait en 3 étapes :

- Une phase initiale flasque :

C'est la phase aigüe de choc spinal (pouvant durer 1 jour, 1 semaine voire 1 mois) caractérisée par une abolition totale de la motricité et de la sensibilité en sous-lésionnel associée à l'abolition des réflexes ostéotendineux et cutanés. Le patient est pris en charge en réanimation.

- Une phase secondaire d'automatisme médullaire :

C'est la phase spastique avec apparition de réflexes médullaires autonomes et récupération progressive de la motricité et de la sensibilité si l'atteinte n'est pas complète. La prise en charge se fait en centre spécialisé.

- Une phase séquellaire avec une persistance de certains troubles.

Concernant l'étiologie, une lésion médullaire survient généralement après une fracture des vertèbres à la suite d'un choc traumatique de la colonne vertébrale, la plupart du temps lors d'un accident de la route. Elle peut également survenir suite à une chute, un incident violent, un accident de sport, un accident de travail ou autres causes. [7]

Les accidents sont la première cause, le nombre de cas annuels est estimé entre 1000 et 1500, ce nombre se rajoute à une population estimée à 50 000 en France.

Les sujets les plus souvent atteints sont les jeunes entre 15 et 35 ans, plus souvent les hommes que les femmes (3 cas sur 4). [8]

Cependant, dans un quart des cas, il s'agit d'atteintes non traumatiques de la moelle épinière comme les tumeurs, malformations, accident d'anesthésie, infection ou inflammation, on parle alors de paraplégie ou tétraplégie médicale. [9]

### 1.1.2 Lésion médullaire incomplète

50 à 60 % des personnes atteintes d'une lésion de la moelle épinière souffrent d'une lésion incomplète. Lors d'une lésion médullaire incomplète la moelle épinière est partiellement endommagée mais certaines fonctions sensorielles et motrices demeurent intactes en fonction de la hauteur et de l'ampleur de la lésion.

Cependant, les fonctions sensorielles et motrices ne sont pas nécessairement dépendantes l'une de l'autre. Sur un même niveau la fonction motrice peut être préservée alors que la fonction sensitive sera atteinte ou inversement.

En revanche, les nerfs situés au-dessus de la blessure médullaire restent intacts et continuent de fonctionner normalement.

L'échelle de déficience (AIS) de l'ASIA (American Spinal Injury Association), basée sur l'échelle de Frankel, est une échelle utilisée pour classer la gravité (complète ou plus ou moins complète) de la blessure chez les blessés médullaires.

A = Complet : aucune sensibilité ou motricité dans le territoire S4-S5.

B = Incomplet sensitif : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5.

C = Incomplet moteur : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score < 3 (motricité non fonctionnelle).

D = Incomplet moteur : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score  $\geq 3$ .

E = Normal : la sensibilité et la motricité sont normales. Il peut persister des anomalies des réflexes.

L'échelle ASIA permet de déterminer les niveaux sensitifs et moteurs du côté droit et du côté gauche pour pouvoir déterminer le niveau lésionnel ainsi que la nature complète ou incomplète de la lésion. [10]

### 1.1.3 Les symptômes

De nombreux symptômes découlent de l'atteinte de la moelle épinière :

- Des troubles moteurs
- Des douleurs
- Des troubles sensitifs
- Des troubles génito-sexuels
- Des troubles sphinctériens
- Des troubles respiratoires
- Des troubles vésicaux et intestinaux
- Des troubles neurovégétatifs

Nous allons principalement nous intéresser aux troubles moteurs :

#### - **La motricité volontaire**

L'atteinte se traduit soit par une paralysie : l'atteinte est complète, les mouvements sont totalement impossibles ; soit par une parésie : l'atteinte est incomplète, les mouvements sont possibles mais sont de faible puissance.

La topographie de l'atteinte dépend du niveau vertébro-médullaire atteint.

L'intensité de la paralysie peut être homogène dans le territoire touché ou, au contraire, avoir plusieurs niveaux d'atteinte, par exemple entre le côté droit et le côté gauche, ou entre la partie proximale et la partie distale, souvent plus touchée en cas d'atteinte incomplète.

## - **La motricité réflexe**

C'est la motricité qui règle le tonus musculaire.

On retrouve deux cas de figure :

- Soit une augmentation de la réflectivité musculaire

Par déconnexion entre la moelle épinière et le cerveau. Lors de la mobilisation des membres on trouve une raideur qui s'oppose à l'étirement des muscles et qui augmente avec la vitesse. Cette raideur ou hypertonie, également appelée spasticité, entraîne des contractures ; ce sont des mouvements anormaux automatiques.

- Soit une disparition de la tonicité

Elle définit l'état de flaccidité ou d'hypotonie. On parle de paraplégie flasque. Cet état résulte d'une destruction médullaire complète ou bien d'une atteinte isolée ou associée des racines nerveuses. Il peut être transitoire ou persister définitivement. Dans ce cas, l'amyotrophie, le risque d'escarre et le risque de phlébite sont importants. [8]

### **1.1.4 Rééducation**

Les objectifs de la prise en charge sont de permettre au patient de retrouver le maximum d'autonomie en utilisant toutes les ressources qui lui permettent d'optimiser les muscles sus lésionnels et apprendre à contrôler les fonctions dans les territoires lésionnels et sous lésionnels.

La prise en charge est multidisciplinaire : médecins, infirmières, kinésithérapeutes, ergothérapeutes, assistant social, psychologue clinicien.

Ils doivent pouvoir gérer la douleur du patient, accompagner la famille et faire de l'éducation thérapeutique surtout pour la prévention des troubles cutanés et des complications urinaires.

La réadaptation des patients doit également se faire dans leur milieu de vie ; il faut mettre en place au domicile des aides, des aménagements et des équipements leur permettant de reprendre une scolarité ou d'envisager une réadaptation professionnelle si nécessaire. [11]

On retrouve 3 phases dans la prise en charge :

- Rééducation en phase initiale :

C'est une période de décubitus dorsal strict pendant une à plusieurs semaines avec surveillance des troubles cutanés trophiques et respiratoires. On réalisera dans cette phase les bilans permettant l'évaluation des troubles et des déficits initiaux. La prise en charge sera une rééducation globale et préventive des troubles associés.

- Rééducation en phase secondaire :

C'est une phase de progression où la rééducation fonctionnelle et analytique mènera à une récupération. Des programmes de verticalisation progressive et de premiers levers seront mis en place ainsi qu'un travail des transferts et de l'ensemble des techniques nécessaires à l'autonomie dans tous les actes de la vie quotidienne.

C'est également une phase de surveillance cutanée, d'entretien orthopédique, de renforcement musculaire et de travail de l'équilibre pour préparer la rééducation à la marche. Cette phase comporte l'éducation thérapeutique du patient et de son entourage.

- Rééducation en phase séquellaire :

Lorsque la récupération ralentie ou devient impossible, les objectifs de rééducation se dirigent vers le fonctionnel et la réinsertion socio professionnelle. La surveillance cutanée et l'entretien orthopédique sont poursuivis par le patient et son entourage.

La prise en charge rééducative d'un patient paraplégique comprend également :

- L'apprentissage du maniement du fauteuil
- Une athlétisation des membres supérieurs et du tronc si l'atteinte est complète, un renforcement musculaire des membres inférieurs et un travail de l'équilibre si l'atteinte est incomplète
- Un réentraînement cardiorespiratoire à l'effort

Les spécificités du patient tétraplégique :

- La prévention des complications neuro orthopédiques par des techniques manuelles, des orthèses pour lutter contre la raideur des épaules, le flexum de coude et la raideur des articulations métacarpo-phalangiennes.
- Un travail de renforcement des muscles sus-lésionnels et lésionnels dans la mesure où le premier métamère atteint est susceptible de récupérer pendant les premiers mois.
- L'importance de la rééducation respiratoire car les complications respiratoires représentent la deuxième cause de décès durant la première année post-traumatique. On utilise des techniques de désencombrement, des techniques visant à maintenir une ampliation thoracique maximale, et des techniques de renforcement moteur des muscles non paralysés et des muscles accessoires.

La rééducation à la marche et la verticalisation :

- Pour une atteinte incomplète : la rééducation à la marche est essentielle et vise à restaurer une motricité dissociée, efficace et fonctionnelle.
- Pour une atteinte complète : il y a un bénéfice de la marche appareillée malgré un coût énergétique élevé et un caractère peu fonctionnel. [12]

Plusieurs études ont montré que la plupart des récupérations fonctionnelles se produisent dans les trois premiers mois et peuvent se poursuivre jusqu'à un an après la lésion.

Il est donc important de procéder à une réadaptation intensive en phase aiguë.

Toutefois, l'amélioration des fonctions se poursuit au-delà d'un an après la blessure chez un certain nombre de personnes.

Dans les cas de lésion médullaire incomplète chronique, le potentiel de récupération fonctionnelle est fortement corrélé au niveau et à la gravité de la lésion.

## 1.2 La marche

### 1.2.1 *Définition*

La marche est le mode de locomotion naturel de l'être humain adulte, lui permettant de combiner le maintien de l'équilibre debout et la propulsion.

Elle met en jeu des processus complexes. La marche est une activité automatique nécessitant le maintien d'un équilibre dynamique ainsi qu'une organisation motrice hiérarchisée et synchronisée. Elle met en jeu de manière combinée et alternée les deux membres inférieurs.

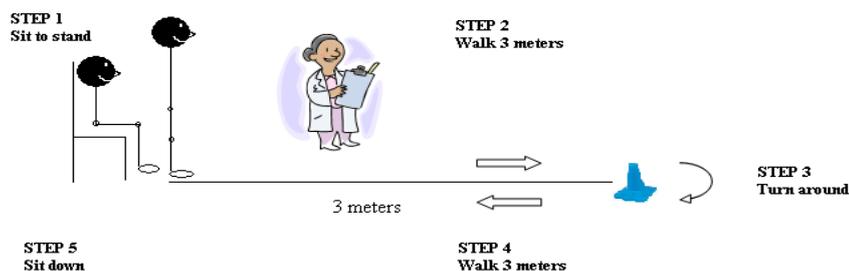
La marche est caractérisée par une succession de doubles appuis et d'appuis unipodaux, le corps restant en permanence en contact avec le sol par au moins un appui unilatéral. [13]

Pour pouvoir être analysée, la marche est découpée en termes d'événements clés et de phases principales qui se produisent pendant le cycle de marche. On distingue deux phases différentes : la phase d'appui correspondant à toute la période où le pied est en contact avec le sol et la phase oscillante où le pied n'est plus en contact avec le sol et qui correspond à l'avancée du membre inférieur.

Lors d'une lésion médullaire, les déficits peuvent engendrer un impact sur l'ambulation fonctionnelle. La vitesse de marche est considérée comme l'un des paramètres les plus importants. En général, les patients blessés médullaires incomplets marchent à une vitesse de marche préférentielle faible et avec un schéma de marche déviant. [14]

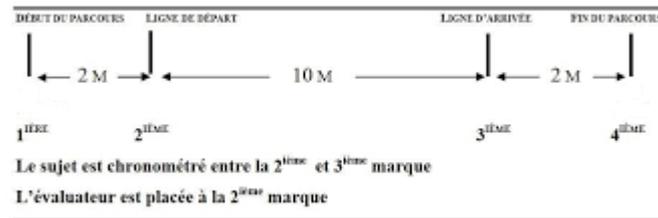
### 1.2.2 *Les tests de marche*

#### ➤ **Le Timed Up and Go Test**



Le patient doit se lever d'une chaise standardisée (entre 44 et 47cm de hauteur avec accoudoirs et ne doit pas être placée contre un mur), marcher 3m, faire demi-tour et retourner s'asseoir. Le test est chronométré. Le patient devait initialement marchait à vitesse confortable, mais il est conseillé aujourd'hui de lui demander de marcher à sa vitesse maximum en sécurité. Le patient peut utiliser des aides techniques et un appareillage. Ce test permet d'évaluer la vitesse de marche et la mobilité fonctionnelle, ainsi que l'équilibre dynamique et le risque de chute. [15]

## ➤ Test de 10 mètres de marche



Le Test de 10 mètres de marche permet de calculer la vitesse de marche du patient.

Il consiste à calculer le temps mis par le patient pour parcourir une distance donnée (10m).

Le chronomètre est lancé après une phase de départ lancée et s'arrête avant que le patient ne s'arrête, il est donc nécessaire d'avoir un espace avant et après la distance utilisée pour le chronométrage (ex : 2m avant, 10m pour le chronométrage et 2m après, soit 14m).

Le patient doit pouvoir marcher indépendamment d'une tierce personne mais peut nécessiter l'utilisation d'une aide technique et d'un appareillage.

Il est conseillé de calculer la vitesse confortable et maximum du patient. [15]

L'une des causes sous-jacentes de la réduction de la performance de marche est une altération de l'équilibre.

## 1.3 L'équilibre

### 1.3.1 *Définition*

L'équilibre est la capacité à contrôler son centre de gravité (CDG) dans la base de soutien (BDS) pour compenser les perturbations externes par des réponses appropriées des muscles et du système nerveux. Pour prévenir les chutes, le CDG d'un sujet doit être maintenu au-dessus de la BDS en utilisant des stratégies motrices et sensorielles. [3]

L'équilibre debout est l'un des facteurs les plus importants pour une marche efficace et sûre. Un équilibre peut être statique ou dynamique.

L'équilibre statique dépend des réactions d'équilibre et des réactions de protection, et implique une interaction complexe entre les systèmes vestibulaire, proprioceptif, visuel et moteur. On parle d'équilibre dynamique lorsqu'il s'agit de maintenir son équilibre en étant en mouvement alors que l'équilibre statique consiste à maintenir son équilibre tout en restant immobile.

Le système musculosquelettique et le système nerveux sont sollicités pour permettre des mouvements volontaires en s'adaptant au contexte de la pesanteur. [16]

L'équilibre statique est sollicité plusieurs fois dans la journée d'une personne, et ce, de manière inconsciente. [17]

La notion d'équilibre postural renvoie au maintien en équilibre d'une position particulière des segments corporels ou de l'ensemble du corps. Cette stabilité est importante dans l'exécution des activités de base de la vie quotidienne.

Le corps est soumis à l'action de forces externes (pesanteur, poids du corps, charge extérieure, réaction d'appui...) et le maintien de l'équilibre sous-entend :

- Que la somme des forces et que la somme des moments soient égales à zéro
- Que les processus neurophysiologiques qui règlent l'activité des forces musculaires s'opposant à la résultante d'action des forces externes agissant sur le corps puissent s'adapter aux modifications de ces forces.

Le maintien postural a donc un aspect fortement dynamique dépendant d'une activité neuromusculaire adaptée. [18]

La gestion de l'équilibre est sous dépendance du système cérébelleux et du système vestibulaire, mais tient compte également de la capacité à ressentir les placements corporels grâce aux récepteurs kinesthésiques.

La gestion de l'équilibre est la maîtrise à tenir le corps ou l'un de ses segments en équilibre grâce à la maîtrise de la pesanteur, de la gestion du poids du corps, de la gestion du centre de gravité, de la ligne de gravité, et de leurs déplacements dans le polygone de sustentation.

L'homme debout au repos n'est jamais parfaitement immobile. Il oscille en permanence suivant des rythmes particuliers et complexes, dont l'amplitude et la fréquence rendent compte du fonctionnement des différents systèmes sensori-moteurs qui placent et maintiennent le centre de gravité à l'intérieur du polygone de sustentation.

L'équilibre orthostatique humain peut donc se définir comme un équilibre stable, mobile et soumis à une régulation constante.

Cet équilibre est la résultante finalisée de la perception et de l'intégration des informations en provenance des trois grands systèmes sensori-moteurs : système vestibulaire, système oculo-sensori-moteur et système proprioceptif.

Le maintien de la posture fait donc appel à des mécanismes complexes de régulation, mettant en jeu de multiples structures centrales (cortex cérébral, noyaux vestibulaires, formation réticulée...). Ces structures centrales et les systèmes sensori-moteurs se contrôlent mutuellement, l'ensemble constituant un modèle de régulation asservie.

En position debout, deux stratégies posturales réflexes peuvent se succéder :

- Tant que l'axe corporel varie de moins de 4 degrés par rapport à la verticale, les ajustements posturaux sont sous la dépendance d'un contrôle continu, automatique et inconscient : ils sont toniques (réflexes myotatiques) et anticipés (apparaissant avant même le début de la perturbation posturale).
- Au-delà de 4 degrés apparaissent des réflexes d'équilibration dynamique (réactions de balancement, de déplacement ou de pas).

Ces deux stratégies correspondent, schématiquement, aux deux formes classiques d'équilibration : l'équilibre statique et l'équilibre dynamique. [19]

Lors d'une lésion de la moelle épinière les synergies posturales normales sont perdues et l'intégration sensori-motrice des membres inférieurs et du tronc est altérée.

Cette réduction des informations spatiales contribue au dysfonctionnement de l'équilibre ; par conséquent, les patients doivent suivre une rééducation de l'équilibre et doivent parfois développer des stratégies utilisant le cou, les membres supérieurs et les muscles non posturaux.

### 1.3.2 Evaluation de l'équilibre

#### ➤ **Berg Balance Scale [20]**

L'échelle d'évaluation de l'équilibre de Berg (BBS) comprend 14 épreuves qui évaluent l'équilibre statique et l'équilibre dynamique. [ANNEXE 2]

Pour effectuer le BBS, l'évaluateur aura besoin d'un chronomètre, d'un ruban à mesurer, de deux chaises d'une hauteur de 45 cm (l'une, avec appui-bras et l'autre sans), ainsi que d'un tabouret (Step) d'une hauteur de 19,5 cm. Il devrait aussi s'accorder de 15 à 30 minutes pour la réalisation complète du test.

Avant d'amorcer le test, l'évaluateur doit s'assurer que la personne évaluée porte des chaussures fermées, qu'elle comprenne bien le but des épreuves, en l'occurrence de maintenir son équilibre, et qu'elle puisse prendre la jambe de son choix pour les épreuves en appui unipodal et tandem.

Lors de l'évaluation, l'évaluateur doit lire les instructions à la personne évaluée telles qu'elles sont écrites dans le formulaire. Il ne doit pas lui fournir d'aide ou lui proposer une aide à la marche à moins d'avis contraire.

Il doit noter le plus bas niveau obtenu selon une échelle de 0 à 4, où 0 indique que la personne est incapable d'exécuter l'épreuve et où 4 indique qu'elle n'a aucune difficulté à l'exécuter. Il est à noter que lorsque la personne évaluée ne parvient pas à tenir une position pendant un certain temps ou qu'elle a besoin d'aide pour effectuer une épreuve, des points sont retranchés.

Finalement, l'évaluateur doit remplir le formulaire en entier afin d'obtenir des résultats fidèles et valides.

Le score global obtenu par la personne évaluée permet à l'évaluateur de déterminer le risque de chute ainsi que la nécessité d'utiliser une aide à la marche.

Voici comment la majorité des chercheurs interprètent les résultats :

56 → Aucun risque de chute ; la personne a un équilibre fonctionnel.

41 à 56 → Faible risque de chute ; la personne marche de façon indépendante.

21 à 40 → Risque de chute moyen ; la personne nécessite une aide à la marche.

0 à 20 → Risque de chute élevé ; la personne nécessite un fauteuil roulant.

## 1.4 La réalité virtuelle

### 1.4.1 *Description*

La réalité virtuelle (RV) est une technologie informatique qui simule la présence physique d'un utilisateur dans un environnement artificiellement généré par des logiciels.

Elle crée un environnement avec lequel l'utilisateur peut interagir.

La réalité virtuelle permet à une personne de vivre une expérience d'immersion en menant une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde créé numériquement. [21]

La thérapie peut être dispensée dans un contexte fonctionnel, ciblé et motivant.

Des technologies avancées permettent de créer des environnements simulés, interactifs et multidimensionnels.

Les interfaces visuelles, les interfaces haptiques, et des dispositifs de suivi de mouvement en temps réel sont utilisés pour créer des environnements permettant aux utilisateurs d'interagir en temps réel avec des images et des objets virtuels. [22]

La réalité virtuelle est un domaine pluridisciplinaire qui se trouve à la croisée des chemins des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines.

Des applications fondées sur ces techniques se sont développées dans de nombreux domaines dont l'entraînement militaire, la formation en milieu industriel et la médecine.

Les environnements virtuels sont flexibles et programmables, ils permettent aux thérapeutes de contrôler de nombreux types de stimuli et de mesurer et contrôler les réponses apportées par les utilisateurs.

La flexibilité des environnements visuels peut être utilisée pour un entraînement systématique qui permet d'optimiser le degré de transfert de l'entraînement ainsi que la généralisation de l'apprentissage dans le monde réel.

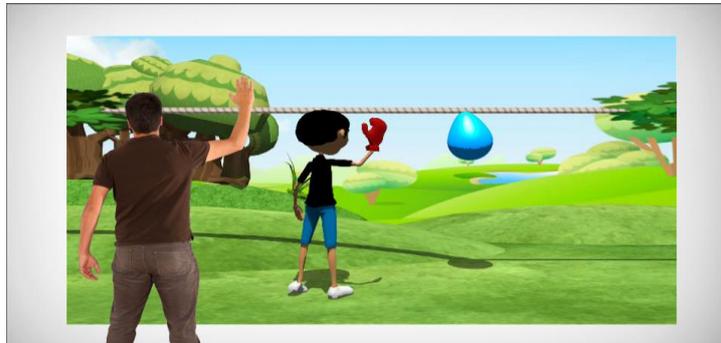
Pour le thérapeute, la RV est considérée comme une interface de la communication. [23]

L'appareil de RV utilisé dépend du niveau d'immersion, qui peut être classé en non immersif, semi-immersif et immersif.

La RV non immersive implique un environnement généré par ordinateur dans lequel un avatar est projeté sur un écran ou un mur devant le patient, comme celui fourni par le Nintendo™ Wii Fit.



L'utilisation de la RV non-immersive dans la réadaptation semble utile ; cependant les mouvements des extrémités et du tronc sont limités car les informations visuelles sont fournies par le biais d'un avatar, il est donc difficile de fournir une stimulation sensorielle multiple en temps réel.



La RV immersive, dans laquelle le spectateur fait partie de l'environnement, implique un dispositif avec un écran monté sur la tête qui fournit des images dans un ordinateur. La RV immersive a l'avantage de fournir un environnement de RV plus réaliste grâce à une forte immersion ; cependant, certaines personnes qui utilisent la RV éprouvent des symptômes tels que des vomissements ou des étourdissements (cybermaladie).



Un système de RV semi-immersif superpose des images virtuelles à des images réelles (pas des avatars) pour augmenter le contenu informatif. La RV semi-immersive permet de fournir des programmes individualisés à des patients individuels, et l'immersion est plus élevée que la RV non immersive dans la mesure où les images réelles sont utilisées dans l'environnement virtuel. De plus, contrairement à la RV immersive, elle a moins d'effets secondaires. [3]



### *1.4.2 Avantages de la RV pour la rééducation motrice [23]*

Les concepts essentiels concernant la rééducation motrice consistent en la répétition, le retour d'information et la motivation.

Il est prouvé que la répétition est importante pour la rééducation motrice ainsi que pour les changements corticaux qui en découlent.

La pratique répétée doit être liée au succès croissant d'une tâche ou d'un objectif, qui est réalisé par des séries d'essais et d'erreurs pratiques, avec un retour d'informations sensorielles sur la performance du patient.

Dans un environnement virtuel, les retours d'informations de la performance peuvent être augmentés par l'amélioration des retours d'informations qui arrivent du monde réel.

De nombreuses méthodes ont été utilisées afin de renforcer la rééducation motrice chez les personnes handicapées grâce au retour d'information en temps réel et à la connaissance des résultats de ces retours d'information.

Le retour d'information a été largement étudié et il est généralement admis qu'il améliore le taux de rééducation motrice.

La réalité virtuelle permet également de visualiser un professeur virtuel pour guider le mouvement plusieurs fois, ce qui permet d'améliorer les performances. Ce type d'apprentissage par imitation ne constitue pas seulement un moyen important pour fournir un meilleur retour d'information visuelle, mais aussi un moyen de développer, par la répétition, un apprentissage de l'activité précise des neurones moteurs du SNC.

En effet, la réalité virtuelle offre une capacité unique de retour d'information en temps réel au participant pendant l'apprentissage. Les patients peuvent voir leurs mouvements réalisés à la même échelle et en temps réel grâce à un avatar virtuel.

En réalité virtuelle la tâche peut être simplifiée aux premières étapes de l'entraînement, ce qui permet aux patients de se concentrer sur les tâches principales ; alors qu'en situation réelle, il peut y avoir de nombreux effets non contrôlés qui peuvent ralentir l'apprentissage.

Mais pour l'entraînement aux mouvements, les participants doivent être motivés. Le manque de motivation ainsi que le manque d'implication, d'engagement sont identifiés comme des obstacles qui entraînent la non-adhésion à la thérapie.

La configuration motivante des jeux vidéo est une caractéristique importante pour améliorer la non-adhésion à la thérapie. Les jeux vidéo sont identifiés comme ayant une participation intentionnelle, une durée de jeu prolongée, et les jeux ont une plus grande possibilité de répétition.

La réalité virtuelle fournit aux participants l'ensemble des aspects composant l'entraînement répétitif, le retour d'informations de la performance et la motivation pour l'entraînement.

L'environnement virtuel peut également être personnalisé pour différents buts thérapeutiques et le système peut être développé pour aider les patients à détecter et corriger les erreurs plus rapidement.

### 1.4.3 Hypothèse théorique

Comme il a été présenté dans la dernière partie, grâce au retour d'information, l'augmentation de la performance motrice peut être facilement réalisée dans un environnement virtuel.

Les retours d'informations proprioceptives et extéroceptives associés à l'exécution de tâches induisent des changements sur le cortex et sous-cortex au niveau cellulaire et synaptique.

Quel type de preuves existe-t-il sur l'apprentissage moteur pour les participants entraînés dans des environnements virtuels ?

Est-ce qu'il y a des études qui ont comparé l'entraînement dans un monde virtuel avec l'environnement réel ?

Les cliniciens et rééducateurs se posent la question du coût engendré par un dispositif de réalité virtuelle ; la balance coût / bénéfice est-elle en faveur de la réalité virtuelle par rapport à la rééducation conventionnelle ?

Évidemment, les partisans de la RV pensent que les résultats seront améliorés en réalité virtuelle en raison de la capacité de réaliser des tâches plus faciles, moins dangereuses, plus personnalisées, avec plus de plaisir, et bien sûr plus aisées à apprendre grâce au retour d'information qui peut être fourni lors de l'entraînement. [23]

**Nous allons donc étudier l'intérêt de la réalité virtuelle dans la rééducation de la marche et de l'équilibre chez les blessés médullaires incomplets.**

### 1.5 Pourquoi est-ce important de faire cette revue ?

J'ai choisi de faire cette revue car tout d'abord le domaine de la neurologie m'intéresse fortement, j'ai effectué un stage à la clinique Saint Martin (Marseille – Les Camoins) et la rééducation des patients blessés médullaires m'a beaucoup plu.

La récupération de la marche et de l'équilibre est une étape très importante chez les blessés médullaires incomplets, elle permet de récupérer une grande autonomie et nous avons un rôle très important en tant que MK dans cette rééducation.

Nous sommes dans un monde en constante évolution et la technologie est de plus en plus présente dans de nombreux domaines.

J'ai trouvé intéressant de chercher si ces nouvelles technologies pouvaient nous aider dans la rééducation de pathologies sévères comme à la suite d'une lésion médullaire.

De plus, plusieurs revues avaient déjà été faites sur l'intérêt de la réalité virtuelle mais celles-ci concernaient la rééducation post AVC ou bien chez les patients parkinsoniens.

Peu de revues ont été faites sur les blessés médullaires, c'est pour cette raison que j'ai décidé de faire une revue de littérature sur l'intérêt de la réalité virtuelle dans la rééducation de la marche et de l'équilibre chez les blessés médullaires incomplets, afin de regrouper les études faites sur ce sujet et d'en extraire les résultats.

## 2 – METHODOLOGIE

### 2.1 Stratégie de recherche

J'ai concentré mes recherches sur les études utilisant la réalité virtuelle (RV) dans la rééducation de la marche chez les patients blessés médullaires incomplets.

Après de nombreuses recherches, l'inventaire sur les articles publiés sur ce sujet montre qu'il ne s'agit que de séries de cas en ce qui concerne la rééducation de la marche.

Les études comparent les critères de jugement avant et après le traitement par réalité virtuelle, sans comparer à un autre traitement.

Même si ce type d'étude a un niveau de preuve inférieur aux essais cliniques randomisés ; il me semble quand même intéressant de faire un état des lieux des études faites sur ce sujet, et si ces études ont des résultats positifs, elles pousseront peut-être à faire d'avantages d'études sur le sujet avec des essais cliniques randomisés pour confirmer ou au contraire invalider l'hypothèse selon laquelle la réalité virtuelle aurait un intérêt dans la rééducation de la marche chez les blessés médullaires.

J'ai ensuite élargi mes recherches en ajoutant l'amélioration de l'équilibre à la rééducation de la marche, car c'est un objectif conjoint et important dans la rééducation des blessés médullaires.

### 2.2 Bases de données

J'ai effectué mes recherches sur différentes bases de données scientifiques : PubMed et PEDro. J'ai également recherché sur Cochrane mais aucun article ne correspondait à ma recherche. Sur Google Scholar les articles trouvés étaient similaires à ceux trouvés sur PubMed.

### 2.3 Critères de sélection

#### 2.3.1 *Etude :*

J'ai sélectionné les études publiées en anglais.

J'ai recherché les essais cliniques randomisés de préférence s'il y en avait, mais peu d'essais cliniques ont été trouvés sur ce sujet, j'ai alors sélectionné des séries de cas comparant les valeurs des critères de jugement avant et après l'intervention par réalité virtuelle.

J'ai exclu les revues de littérature.

### *2.3.2 Population :*

Cette revue cible les personnes atteintes de paraplégie ou tétraplégie incomplète à la suite d'une lésion médullaire ; les études sur les tétraplégies et paraplégies complètes ont été exclues. Les études portant sur d'autres pathologies ont également été exclues.

### *2.3.3 Intervention :*

Je me suis intéressée aux études dont l'intervention était l'utilisation de la réalité virtuelle dans la rééducation de la marche et de l'équilibre.

Les études utilisant la réalité virtuelle couplée à un appareillage comme les exosquelettes et les neuroprothèses ont été exclues.

Les études utilisant la réalité virtuelle pour la rééducation des membres supérieurs ont également été exclues.

### *2.3.4 Comparateur :*

J'ai recherché des essais cliniques randomisés comparant la réalité virtuelle à la rééducation conventionnelle.

Les séries de cas incluses dans cette revue n'ont pas de comparateur en ce qui concerne le traitement ; elles comparent les résultats des critères de jugement pré et post traitement.

Cependant certaines études mesurent les critères de jugement à plusieurs points de temps avant l'intervention, cela permet de comparer l'évolution des valeurs sans intervention à l'évolution des valeurs avec intervention au sein d'un même groupe.

### *2.3.5 Critères de jugement :*

Les études sélectionnées mesurent les fonctions de la marche et de l'équilibre avant et après les interventions.

Les critères de jugement recherchés sont le Timed Up and Go, le test de 10 mètres de marche, le test de 2 minutes de marche, l'échelle WISCI (Indice de marche pour blessé médullaire), l'échelle de l'équilibre de BERG, l'échelle de l'équilibre ABC, et autres tests de l'équilibre.

Les études mesurant d'autres critères de jugement (comme la douleur) ont été exclues.

## 2.4 Mots clés utilisés

J'ai défini les mots-clés selon ma question clinique.

J'ai employé et joint les termes à l'aide des opérateurs booléens « AND » et « OR » et de MeSH terms.

**Réalité virtuelle** : virtual reality, VR, virtual environment, artificial reality, artificial environment, computer simulation, simulated 3D environment, simulated reality

**Blessé médullaire** : paraplegia, spinal cord injur\*

**Réhabilitation** : rehabilitation, recovery, recuperation, rehab, improvement, neurorehabilitation

**Marche / équilibre** : walk, walking, motor function, gait, timed up and go, balance

Equation de recherche :

*(((paraplegia) OR spinal cord injur\*)) AND (((((((virtual reality) OR virtual environment) OR artificial reality) OR artificial environment) OR VR) OR computer simulation) OR simulated 3D environment) OR simulated reality)) AND (((((((rehabilitation) OR rehab) OR recovery) OR improvement) OR recuperation) OR neurorehabilitation)) AND (((((((walk) OR walking) OR gait) OR motor function) OR (timed up and go)) OR balance)*

## 2.5 Sélection des études

J'ai effectué 3 étapes de sélection avec les critères d'inclusion et d'exclusion :

- Lecture du titre
- Lecture du résumé
- Lecture de l'intégralité de l'article.

J'ai sélectionné les articles sur la réalité virtuelle chez les patients blessés médullaires incomplets étudiant la marche et l'équilibre. J'ai exclu les articles portant sur d'autres pathologies, d'autres traitements, et d'autres critères de jugement.

J'ai ensuite exclu les revues de littérature, pour ne garder que des études.

Enfin j'ai exclu les études combinant la réalité virtuelle avec d'autres thérapeutiques comme les exosquelettes et les neuroprothèses.

J'ai également exclu une étude de cas portant sur seulement 1 sujet [24], ainsi qu'une étude ne présentant pas les résultats des blessés médullaires [5].

## 2.6 Modalité d'évaluation de la qualité des études

Les essais cliniques randomisés seront évalués par l'échelle PEDro.

Les séries de cas seront évaluées par la liste de contrôle de l'évaluation critique de l'institut Joanna Briggs pour les séries de cas.

Les résultats seront présentés sous forme de tableaux avec les items et le score total (pour PEDro) pour chaque article.

Un résumé sera rédigé pour synthétiser les biais retrouvés dans les études incluses.

## 2.7 Extraction des données

Concernant les études exclues, un tableau sera réalisé indiquant l'auteur et la date des études exclues ainsi que la raison de l'exclusion.

Pour les études incluses, une synthèse sera présentée sous forme de tableau, résumant le type de l'étude, le nombre et l'âge des participants, la durée de la lésion, l'intervention et les critères de jugement utilisés.

Pour plus de détails, un résumé de chaque article sera donné en annexe sous forme de tableaux présentant les participants, les interventions et les résultats des critères de jugement de chaque article.

## 2.8 Méthode de synthèse des résultats

Un résumé de chaque article sera donc réalisé sous forme de tableaux avec une partie concernant les résultats des critères de jugement.

Les résultats des critères de jugement seront également plus détaillés dans la partie « effets de l'intervention » sous forme de tableaux comparant les mesures des critères de jugement de chaque étude pré et post traitement et parfois quelques mois après le traitement (suivi).

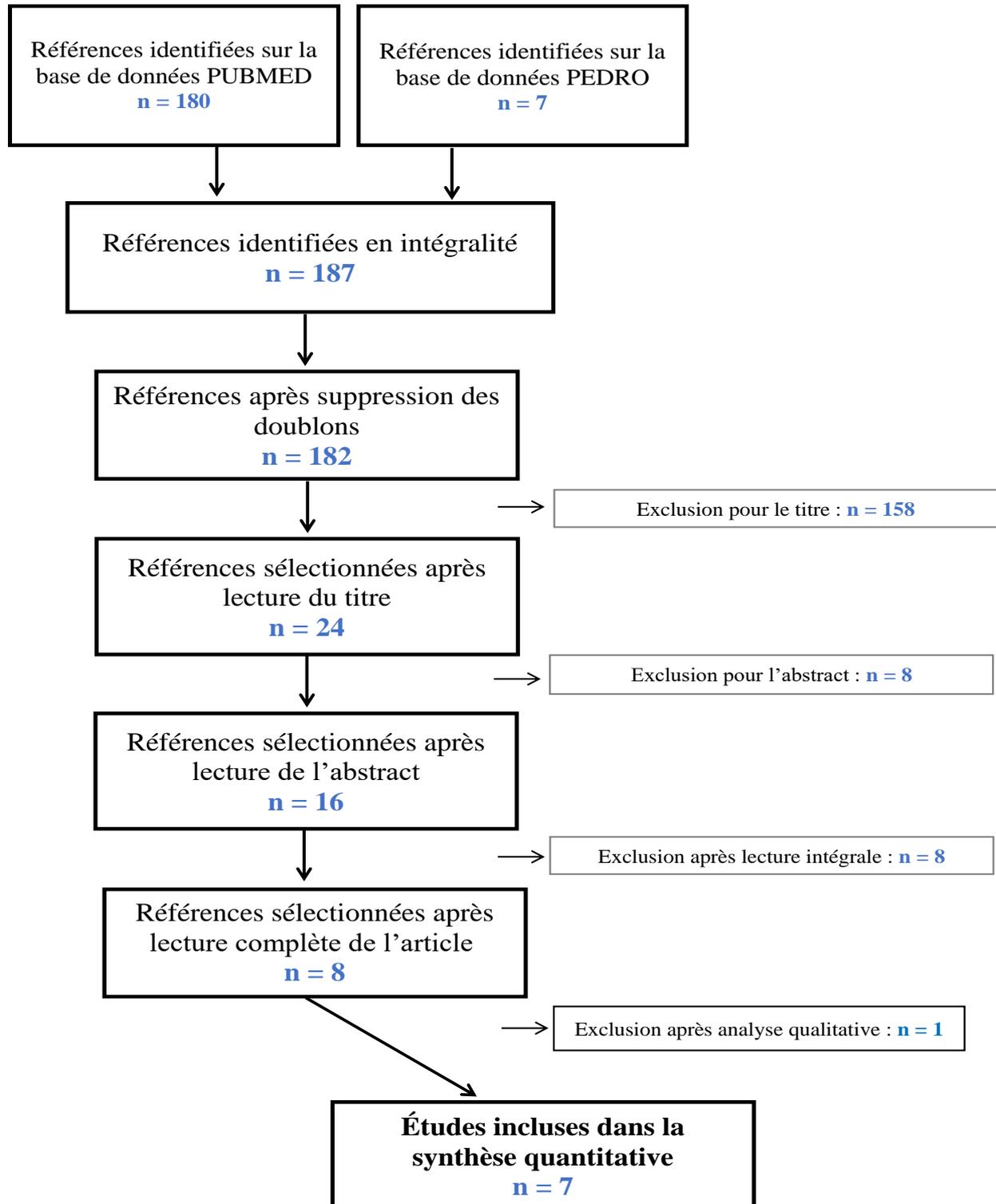
L'analyse des résultats avec la valeur de P sera également donnée dans les tableaux, nous permettant de savoir si la différence observée est statistiquement significative ou non.

Les résultats seront plus précisément analysés de manière narrative dans la discussion en tenant compte de la taille d'effet, lorsqu'elle est calculable, de la valeur de P, et des biais présents dans les études.

### 3 – RESULTATS

#### 3.1 Description des études

##### 3.1.1 *Diagramme de flux*



### 3.1.2 Etudes exclues

ETUDE	RAISON DE L'EXCLUSION
De Mauro A, 2011 [25]	Système de RV combiné avec la neurorobotique portable, la neuro-prothèse motrice et l'interface neuro-machine cérébrale
Oddsson LI, 2007 [26]	Système de gravité altérée
Riva G, 1998 [27]	RV couplée à un appareil orthopédique
Donati AR, 2016 [28]	RV combinée à un exosquelette
Duffell LD, 2019 [29]	RV + stimulation électrique fonctionnelle
King CE, 2013 [30]	Imagerie motrice
Wellner M, 2007 [31]	RV combinée avec un robot de rééducation LOCOMAT
Maresca, 2018 [24]	Etude sur 1 seul patient
U. Syed, 2019 [5]	Les résultats concernant les blessés médullaires ne sont pas représentés

### 3.1.3 Etudes incluses

Article	Méthode	Nombre de participants	Age des participants	Durée de la lésion	Intervention	Critères de jugement
R. Van Dijsseldonk, 2018 [14]	Série de cas	15	59 ans (moyenne)	> 6 mois	Rééducation avec la réalité virtuelle + système GRAIL	Test 2 minutes de marche Mesure des paramètres spacio temporels Mesure de la position du centre de Masse Echelle ABC
Sengupta, 2019 [4]	Etude contrôlée quasi randomisée	33 (21/12)	28 ans / 30 ans (moyenne)	< 6 mois	Traitement conventionnel vs réalité virtuelle	Echelle de l'équilibre de Berg (BBS) Tinetti (POMA) Score de portée fonctionnelle (FRS)
M. Villiger, 2013 [1]	Série de cas	14	28 à 71 ans	> 1 an	Rééducation avec la réalité virtuelle	Test de marche de 10 mètres Echelle de Berg (BBS) Mesure d'indépendance (SCIM) Indice de marche II (WISCI II) Analyse du mouvement en 3D
C. An, 2018 [3]	Série de cas	10	28 à 54 ans	> 1 an	Traitement par réalité virtuelle semi immersive	Echelle de l'équilibre de Berg (BBS) Limite de stabilité (LOS)

						Timed Up & Go (TUG) ABC scale Indice de marche (WISCI-II)
T. Wall, 2015 [32]	Série de cas	5	50 à 64 ans	> 1 an	Entraînement par réalité virtuelle avec la Nintendo Wii FIT	Test de 10 mètres de marche Timed Up & Go (TUG) Test de portée fonctionnelle (FRT)
M. Villiger, 2017 [33]	Série de cas	12	41 à 74 ans	> 1 an	Traitement par réalité virtuelle à domicile	Score moteur des membres inférieurs (LEMS) Echelle de Berg (BBS) Timed Up and Go (TUG) Test de marche de 10 m (10MWT) Indice de marche (WISCI) II Test de marche de 6 minutes Mesure d'indépendance (SCIM) III
DG Sayenko 2010 [2]	Série de cas	6	27 à 62 ans	> 1 an	Entraînement de l'équilibre en réalité virtuelle (feedback visuel)	Test de stabilité statique Test de stabilité dynamique

Une présentation plus détaillée des études incluses a été faite en annexe. [ANNEXE 3]

## 3.2 Risques de biais des études incluses

### 3.2.1 Grille d'analyse utilisée

#### ➤ Pour les essais cliniques

La grille d'analyse utilisée afin d'évaluer la qualité méthodologique des essais cliniques est l'échelle PEDro. Le résultat est un score noté sur 10. [ANNEXE 4]

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi élaborée par Verhagen et ses collaborateurs.

La liste Delphi est une liste de critères pour l'évaluation de la qualité des essais cliniques randomisés pour la réalisation d'examen systématiques, élaborée par consensus Delphi.

Deux items additionnels, qui ne figurent pas sur la liste Delphi, ont été ajoutés à l'échelle PEDro (items 8 et 10 de l'échelle PEDro).

L'échelle PEDro a pour but de cibler rapidement les essais cliniques qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et de contenir suffisamment d'information statistique pour que leurs résultats puissent être interprétés (critères 10 et 11).

Un critère additionnel (critère 1), lié à la validité externe (ou à la « généralisabilité » ou à « l'applicabilité » de l'essai), a été retenu, afin que la liste Delphi soit complète ; mais ce critère ne sera pas utilisé pour calculer le score PEDro qui sera cité sur le site web de PEDro. [34]

#### Échelle PEDro – Français

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:
11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité	non <input type="checkbox"/>	oui <input type="checkbox"/>	où:

➤ Pour les séries de cas

L'évaluation de la qualité méthodologique des études de type série de cas sera analysée avec la liste de contrôle de l'évaluation critique pour les séries de cas créée par l'Institut Joanna Briggs (JBI). [ANNEXE 5]

Réponses : Oui / Non / Imprécis / Non applicable

1. Y avait-il des critères clairs pour l'inclusion dans la série de cas ?
2. L'affection a-t-elle été mesurée de manière standard et fiable pour tous les participants inclus dans la série de cas ?
3. Des méthodes valides ont-elles été utilisées pour l'identification de la maladie pour tous les participants inclus dans la série de cas ?
4. La série de cas a-t-elle comporté des participants consécutifs ?
5. Les séries de cas ont-elles inclus tous les participants ?
6. Les données démographiques des participants à l'étude ont-elles été clairement communiquées ?
7. Les informations cliniques des participants ont-elles été clairement communiquées ?
8. Les résultats ou les résultats du suivi des cas ont-ils été clairement communiqués ?
9. Les informations démographiques du/des site(s)/clinique(s) présenté(s) ont-elles été clairement communiquées ?
10. L'analyse statistique était-elle appropriée ? [35]

### 3.2.2 Synthèse des biais retrouvés

Résultats de l'analyse avec l'échelle PEDro :

ARTICLE / SCORE PEDRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
M. Sengupta, 2019 [4]	X			X			X		X	X	X	5/10

Les biais retrouvés dans l'essai clinique sont :

- La répartition n'a pas respecté une assignation secrète, ou cela n'a pas été précisé.
- Les sujets n'étaient pas en aveugle ; ce critère est difficile à être respecté puisque dans ce contexte il est facile pour les sujets de savoir s'ils utilisent la réalité virtuelle ou non, ils peuvent facilement faire la différence entre les 2 traitements, il est donc difficile de les mettre en aveugle.
- Nous ne savons pas si les mesures ont été prises pour au moins 85% des sujets initialement répartis dans les groupes puisque les mesures sont données sous forme de moyenne pour chaque groupe, ce qui nous empêche de savoir le nombre de sujets sur lesquels ont été prises les mesures concernant les critères de jugement.

Résultats de l'évaluation par la liste de contrôle de l'évaluation critique pour les séries de cas créée par l'Institut Joanna Briggs :

ARTICLE / ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>R. Van Dijsseldonk, 2018 [14]</b>	Oui	NA	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Peu clair	NA
<b>M. Villiger, 2013 [1]</b>	Oui	NA	Oui	Oui	Oui	Oui	Peu clair	Oui	Oui	NA
<b>C. An, 2018 [3]</b>	Oui	NA	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	NA
<b>T. Wall, 2015 [32]</b>	Oui	NA	Oui	Non	Non	Oui	Peu clair	Oui	Non	NA
<b>M. Villiger, 2017 [33]</b>	Oui	NA	Oui	Oui	Oui	Non	Peu clair	Oui	Peu clair	NA
<b>DG Sayenko 2010 [2]</b>	Oui	NA	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	NA

L'item 2 concernant la méthode utilisée pour mesurer la condition des participants, n'est pas applicable à ces études puisqu'il s'agit de participants ayant subi une lésion médullaire, ce n'est pas une maladie que nous pouvons diagnostiquer par un simple test médical fiable et reproductible autre qu'une imagerie (IRM) montrant la rupture de la moelle épinière, mais ceci n'a pas été fait dans ces études.

Un biais retrouvé dans la moitié de ces études concerne l'inclusion consécutive des participants ; les études en question ne précisent pas la durée de temps sur laquelle les participants ont été inclus dans chaque étude.

Un autre biais se retrouve également sur la moitié de ces études : il s'agit de l'inclusion complète ; ces études ne précisent pas si tous les sujets répondant aux critères d'inclusion ont été inclus.

Concernant l'item 7 portant sur les informations cliniques des patients, la plupart sont peu claires ; les études nous donnent l'âge, parfois le genre, la pathologie ainsi que la durée de celle-ci, mais nous n'avons pas d'informations sur les comorbidités, les antécédents, les précédents traitements ou interventions.

Il en est de même pour l'item 8, certaines études ne précisent pas la région géographique du site clinique, ce qui ne permet pas d'avoir une bonne applicabilité de l'étude.

### 3.3 Effets de l'intervention

#### 3.3.1 *Critère de jugement principal*

Dans cette revue nous nous intéressons principalement à la rééducation de la marche.

Nos principaux critères de jugement concernent donc les tests de marche.

Les principaux tests de marche utilisés sont le Timed Up And Go et le test de 10 mètres de marche.

Pour évaluer la marche certaines études ont utilisé l'Indice de marche pour les lésions de la moelle épinière (WISCI), ou alors le test de 2 minutes de marche.

#### ➤ Résultats du Timed Up And Go Test

<b>ETUDE</b>	<b>RESULTATS AVANT L'INTERVENTION</b>	<b>RESULTATS APRES L'INTERVENTION</b>	<b>ANALYSE DES RESULTATS</b>
<b>T. Wall 2015</b> [32]	<i>4 semaines avant : 22.7 2 semaines avant : 21 1 semaine avant : 22</i>	<i>1 semaine après : 21 4 semaines après : 21.5</i>	Pas de différence statistiquement significative (P = 0.25)
<b>Villiger 2017</b> [33]	<i>4 semaines avant : 15.9 Juste avant : 15.4</i>	<i>5 semaines après : 14.4 10/13 semaines après : 14.2</i>	Amélioration significative (P = 0.005)
<b>C. An 2018</b> [3]	<i>1 semaine avant : 19.35</i>	<i>1 semaine après : 17.14</i>	Amélioration significative (P < 0.05)

➤ Résultats du test de 10 mètres de marche

ETUDE	RESULTATS AVANT L'INTERVENTION	RESULTATS APRES L'INTERVENTION	ANALYSE DES RESULTATS
<b>T. Wall 2015</b> [32]	<i>3 semaines avant : 0.435</i> <i>2 semaines avant : 0.45</i> <i>1 semaine avant : 0.445</i>	<i>1 semaine après : 0.504</i> <i>4 semaines après : 0.506</i>	Amélioration significative (P = 0.001)
<b>Villiger 2017</b> [33]	<i>4 semaines avant : 1.09</i> <i>Juste avant : 1.09</i>	<i>5 semaines après : 1.13</i> <i>10/13 semaines après : 1.13</i>	Pas de différence significative (P = 0.169)
<b>Villiger 2013</b> [1]	<i>4 semaines avant : 1.0</i> <i>Juste avant : 0.99</i>	<i>5 semaines après : 1.13</i> <i>12/16 semaines après : 1.11</i>	Amélioration significative (P < 0.01)

➤ Résultats de l'Indice de marche (WSCI)

ETUDE	RESULTATS AVANT L'INTERVENTION	RESULTATS APRES L'INTERVENTION	ANALYSE DES RESULTATS
<b>C. An 2018</b> [3]	<i>1 semaine avant : 16.30</i>	<i>1 semaine après : 17.90</i>	Amélioration significative (P < 0.05)
<b>Villiger 2017</b> [33]	<i>4 semaines avant : 31.2</i> <i>Juste avant : 30.9</i>	<i>5 semaines après : 32.6</i> <i>10/13 semaines après : 32.6</i>	Pas de différence statistiquement significative (P = 0.180)
<b>Villiger 2013</b> [1]	<i>4 semaines avant : 14.5</i> <i>Juste avant : 14.5</i>	<i>5 semaines après : 15.6</i> <i>12/16 semaines après : 15.6</i>	Amélioration significative (P < 0.004)

➤ Résultats du Test de 2 minutes de marche :

ETUDE	RESULTATS AVANT L'INTERVENTION	RESULTATS APRES L'INTERVENTION	ANALYSE DES RESULTATS
<b>Dijsseldonk 2018</b> [14]	<i>Après la 2<sup>ème</sup> session : 0.82</i> <i>Après la 3<sup>ème</sup> session : 0.89</i>	<i>Après la dernière session : 1.13</i> <i>6 mois après : 1.30</i>	Amélioration significative (P < 0.001)

### 3.3.2 Critère de jugement secondaire

Cette revue s'intéresse également à la rééducation de l'équilibre. Les principaux tests de l'équilibre utilisés sont l'échelle de Berg et l'échelle ABC.

D'autres études ont utilisé le Test de portée fonctionnelle (FRT) pour évaluer l'équilibre et la mobilité fonctionnelle. L'étude de Sayenko [2] a utilisé le test de stabilité statique et le test de stabilité dynamique pour évaluer l'équilibre.

➤ Résultats de l'échelle de l'équilibre de Berg

ETUDE	RESULTATS AVANT L'INTERVENTION	RESULTATS APRES L'INTERVENTION	ANALYSE DES RESULTATS
<b>Villiger 2013</b> [1]	<i>4 semaines avant : 40.2</i> <i>Juste avant : 41.4</i>	<i>5 semaines après : 44.9</i> <i>12/16 semaines après : 45.4</i>	Amélioration significative (P < 0.001)
<b>Villiger 2017</b> [33]	<i>4 semaines avant : 41.6</i> <i>Juste avant : 41.5</i>	<i>5 semaines après : 43.3</i> <i>10/13 semaines après : 42.6</i>	Amélioration significative (P = 0.008) post intervention mais pas au suivi (P = 0.28)
<b>C. An 2018</b> [3]	<i>1 semaine avant : 35.70</i>	<i>1 semaine après : 40.10</i>	Amélioration significative (P < 0.01)
<b>M. Sengupta 2019</b> [4]	<b>Groupe expérimental :</b> ASIA C/D : 3.5 <b>Groupe contrôle :</b> ASIA C/D : 3	<b>Groupe expérimental :</b> ASIA C/D : 20.5 <b>Groupe contrôle :</b> ASIA C/D : 22	Pas de différence statistiquement significative intergroupe ASIA C/D : P = 0.310

➤ Résultats de l'échelle de l'équilibre ABC

ETUDE	RESULTATS AVANT L'INTERVENTION	RESULTATS APRES L'INTERVENTION	ANALYSE DES RESULTATS
<b>Dijsseldonk 2018</b> [14]	<i>Après la 2<sup>ème</sup> session : 69 Après la 3<sup>ème</sup> session : 70.3</i>	<i>Après la dernière session : 77.1 6 mois après : 74.5</i>	Amélioration significative (P = 0.001)
<b>C. An 2018</b> [3]	<i>1 semaine avant : 67.90</i>	<i>1 semaine après : 76.85</i>	Amélioration significative (P < 0.05)

➤ Résultats du Test de portée fonctionnelle

ETUDE	RESULTATS AVANT L'INTERVENTION	RESULTATS APRES L'INTERVENTION	ANALYSE DES RESULTATS
<b>T. Wall 2015</b> [32]	<p>EN AVANT <i>3 semaines avant : 22 2 semaines avant : 23.5 1 semaine avant : 22.5</i></p> <p>LATERAL <i>3 semaines avant : 19.5 2 semaines avant : 21 1 semaine avant : 21.5</i></p>	<p>EN AVANT <i>1 semaine après : 31 4 semaines après : 30</i></p> <p>LATERAL <i>1 semaine après : 25 4 semaines après : 25.5</i></p>	<p>Amélioration statistiquement significative</p> <p>En avant : P &lt; 0.001</p> <p>Latéral : P = 0.001</p>
<b>M. Sengupta 2019</b> [4]	<p><b>Groupe expérimental :</b> ASIA C/D : 48</p> <p><b>Groupe contrôle :</b> ASIA C/D : 36</p>	<p><b>Groupe expérimental :</b> ASIA C/D : 66</p> <p><b>Groupe contrôle :</b> ASIA C/D : 51</p>	<p>Pas de différence statistiquement significative intergroupe</p> <p>ASIA C/D : P = 0.679</p>

➤ Résultats du test de stabilité statique

Le test de stabilité statique fait référence aux fluctuations du centre de pression (COP) qui sont mesurées par la distance moyenne quadratique (RDIST), la surface de l'ellipse de confiance à 95% (AREA-CE) et la vitesse moyenne (MVELO). [2]

	Avant intervention Yeux ouverts	Après intervention Yeux ouverts	Valeur de P Yeux ouverts	Avant intervention Yeux fermés	Après intervention Yeux fermés	Valeur de P Yeux fermés
<b>RDIST Antéro – postérieur</b>	40 mm	30 mm	0.04*	75 mm	45 mm	0.01*
<b>RDIST Médio – latéral</b>	35 mm	15 mm	0.03*	60 mm	25 mm	0.04*
<b>MVELO Antéro – postérieur</b>	35 mm/s	23 mm/s	0.04*	60 mm/s	40 mm/s	0.03*
<b>MVELO Médio – latéral</b>	21 mm/s	19 mm/s	0.25	35 mm/s	28 mm/s	0.20
<b>AREA-CE</b>	250 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	0.03*	520 mm <sup>2</sup>	280 mm <sup>2</sup>	0.03*

\*Les valeurs sont statistiquement significatives

➤ Résultats du test de stabilité dynamique

Le test de stabilité dynamique fait référence à la capacité de déplacer volontairement le COP sur une distance maximale sans perdre l'équilibre, elle est représentée par la zone de stabilité (AREA-SZ). [2]

	Avant intervention	Après intervention	Valeur de P
<b>AREA-SZ</b>	700 cm <sup>2</sup>	1400 cm <sup>2</sup>	< 0.01 Amélioration significative

## 4 – DISCUSSION

### 4.1 Analyse des principaux résultats

#### ➤ **Résultats du Timed Up and Go Test**

L'étude de Wall [32] a effectué plusieurs mesures avant l'intervention (3 semaines avant – 2 semaines avant – 1 semaine avant) nous permettant d'analyser l'évolution des valeurs sans intervention ; ces valeurs pourraient nous servir de groupe contrôle. Entre 3 semaines avant et 1 semaine avant l'intervention il y a une différence de -0.7 alors qu'entre 1 semaine avant et 1 semaine après l'intervention il y a une différence de -1. Les différences des valeurs observées entre avant l'intervention et après l'intervention ne sont pas significatives. La valeur de P entre avant l'intervention et après l'intervention est égale à 0.25 ; cette différence n'est donc pas statistiquement significative. De plus, la taille d'effet a été calculée avec le d de Cohen et la valeur de 0.04 prouve que l'effet est très peu important. L'amélioration n'est donc pas assez importante pour pouvoir affirmer qu'elle est due à l'intervention.

L'étude de Villiger (2017) [33] a également fait des mesures a plusieurs points de temps avant l'intervention : une mesure 4 semaines avant et une mesure juste avant l'intervention, pouvant nous servir de groupe contrôle là aussi. Entre 4 semaines avant et juste avant l'intervention il y a une différence de -0.5 alors qu'entre juste avant et juste après l'intervention il y a une différence de -1. Ici le P est égal à 0.005 et l'amélioration est donc statistiquement significative. Il est donc prouvé ici que d'après la valeur de P la différence observée montre une amélioration suite à l'intervention statistiquement significative ; mais l'effet est-il important ? En effet, en comparant la différence sans intervention puis avec intervention, nous observons une différence de seulement 0.5 qui ne nous permet pas d'affirmer que l'effet est important. Avec ces résultats nous pouvons donc dire que l'intervention a permis une amélioration mais l'effet est peu important.

L'étude de An [3] mesure les critères de jugement 1 semaine avant puis 1 semaine après l'intervention. Ici nous pouvons seulement calculer la différence entre avant et après l'intervention mais nous n'avons pas de données pour pouvoir comparer ces valeurs. La différence est de -2.21 et elle est statistiquement significative puisque  $P < 0.05$ .

Si nous considérons que les participants des études de An, de Villiger (2017) et de Wall sont semblables et comparables alors nous constatons que la différence observée dans l'étude de An est supérieure à celle observée dans les études de Villiger (2017) et de Wall et que l'amélioration de la marche est donc plus importante dans l'étude de An.

Cependant, les participants ne sont pas si semblables entre ces trois études puisque Wall et Villiger (2017) ont recruté des patients plus âgés que An, or l'âge est un facteur important dans les capacités de récupération, les sujets jeunes ont un potentiel de récupération supérieur aux sujets âgés. Cela pourrait donc expliquer pourquoi l'étude de An montre une plus grande amélioration de la marche que les études de Wall et Villiger (2017).

### ➤ Résultats du test de 10 mètres de marche

Dans l'étude de Wall [32] la différence observée entre 3 semaines avant et 1 semaine avant l'intervention est de +0.010 et la différence entre 1 semaine avant et 1 semaine après l'intervention est de +0.059. La différence pré et post intervention est statistiquement significative ( $P = 0.001$ ) mais la taille de l'effet est peu importante ( $d = 0.35$ ).

Dans l'étude de Villiger (2017) [33] les valeurs à 4 semaines avant et juste avant l'intervention sont identiques. Entre juste avant l'intervention et 5 semaines après on constate une différence de +0.04 qui n'est pas statistiquement significative ( $P = 0.169$ ). Cette étude ne permet pas de prouver une amélioration significative du test de 10 mètres de marche.

Dans l'étude de Villiger (2013) [1] il y a une différence de -0.01 entre 4 semaines avant et juste avant l'intervention, et une différence de +0.04 entre juste avant l'intervention et 5 semaines après. La différence pré et post intervention est statistiquement significative ( $P < 0.01$ ) mais la taille de l'effet est peu importante (+0.05).

### ➤ Résultats du test de 2 minutes de marche

L'étude de Dijsseldonk [14] montre une différence de +0.07 entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> session et une différence de +0.24 entre la 3<sup>ème</sup> et la dernière (12<sup>ème</sup>) session. La différence entre le début et la fin de l'intervention est statistiquement significative ( $P < 0.001$ ). Cependant, aucune mesure n'a été prise avant le début de l'intervention, nous ne pouvons donc pas mesurer la taille de l'effet.

### ➤ Résultats de l'Indice de marche

L'étude de An [3] montre une différence de +1.6 entre 1 semaine avant et 1 semaine après l'intervention. Cette amélioration est statistiquement significative ( $P < 0.05$ ) mais sans valeurs comparatives nous ne pouvons pas évaluer la taille de l'effet.

L'étude de Villiger (2017) [33] montre une différence de -0.3 entre 4 semaines avant et juste avant l'intervention, et une différence de +1.7 entre juste avant l'intervention et 5 semaines après. Cette amélioration n'est pas statistiquement significative avec une valeur de  $P$  égale à 0.180.

Dans l'étude de Villiger (2013) [1] les valeurs 4 semaines avant et juste avant l'intervention sont identiques, et les valeurs juste avant l'intervention et 5 semaines après montrent une amélioration de +1.1 statistiquement significative ( $P < 0.004$ ). Cette étude montre que l'intervention par réalité virtuelle permet une amélioration de la marche, cependant la puissance de cette amélioration est faible (+1.1).

### ➤ Résultats de l'échelle de l'équilibre de Berg

Les études de Villiger (2013) [1] et Villiger (2017) [33] montrent respectivement une différence de +1.2 et -0.1 entre 4 semaines avant et juste avant l'intervention, et une différence de +3.5 et +1.8 entre juste avant l'intervention et 5 semaines après. La différence pré et post intervention est statistiquement significative ( $P < 0.001$  et  $P = 0.008$ ) et la taille de l'effet (différence entre la période sans intervention et la période avec intervention) est de +2.3 et +1.9. Ces études montrent donc une amélioration de l'équilibre avec la réalité virtuelle mais de faible puissance.

L'étude de An [3] montre une différence de +4.4 entre 1 semaine avant et 1 semaine après l'intervention. Cette différence est statistiquement significative ( $P < 0.01$ ) mais nous ne pouvons pas évaluer la taille de l'effet dans cette étude.

L'étude de Sengupta [4] montre une différence pré et post intervention de +19 pour le groupe contrôle et +17 pour le groupe expérimental. Cette différence entre les deux groupes n'est pas statistiquement significative ( $P = 0.310$ ). Cette étude montre une amélioration importante de l'équilibre mais de façon presque identique dans les deux groupes.

#### ➤ **Résultats de l'échelle de l'équilibre ABC**

L'étude de An [3] montre une différence de +8.95 entre 1 semaine avant et 1 semaine après l'intervention. Cette différence est statistiquement significative ( $P < 0.05$ ).

L'étude de Dijsseldonk [14] montre une différence de +1.3 entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> session, et une différence de +6.8 entre la 3<sup>ème</sup> et la dernière (12<sup>ème</sup>) session. La différence entre le début et la fin de l'intervention est statistiquement significative ( $P < 0.001$ ).

Ces deux études montrent que l'intervention par réalité virtuelle améliore les capacités d'équilibre des participants ; cependant nous n'avons pas de données concernant la puissance de cette amélioration.

#### ➤ **Résultats des tests de stabilité statique et dynamique**

Dans l'étude de Sayenko [2], tous les paramètres mesurés – exceptée la mesure de la vitesse moyenne en médial-latéral – ont été améliorés de manière statistiquement significative.

Cette étude montre que les paramètres de l'équilibre ont été améliorés par la réalité virtuelle. Mais ici aussi, les mesures n'ont été prises qu'une fois avant l'intervention et une fois après l'intervention ; des données, telles que des mesures à plusieurs points de temps avant l'intervention ou la présence d'un groupe contrôle, manquent pour pouvoir analyser la puissance de cette amélioration.

#### ➤ **Synthèse des résultats**

Pour chaque critère de jugement évalué, trois quarts des articles ont trouvé une amélioration significative avec la réalité virtuelle et un quart des articles n'ont pas trouvé de différence statistiquement significative.

Le seul essai clinique de cette revue [4] comparant l'entraînement de l'équilibre en réalité virtuelle à l'entraînement de l'équilibre dans le monde réel ne montre pas de différence significative entre les deux groupes. Cela signifie, d'après cette étude, que les deux types d'entraînement ont le même effet et qu'il n'y en a pas un plus efficace que l'autre.

Les études de Dijsseldonk [14], de An [3], de Villiger (2013) [1] et de Wall [32] montrent une amélioration de la vitesse de marche et de l'équilibre avec la réalité virtuelle, l'étude de Sayenko [2] montre une amélioration de l'équilibre, l'étude de Villiger (2017) [33] montre une amélioration de l'équilibre et de la mobilité fonctionnelle mais pas de la vitesse de marche, et l'étude de Wall ne trouve pas d'amélioration significative pour la mobilité fonctionnelle.

Ces études prouvent donc que l'utilisation de jeux vidéo en réalité virtuelle permet d'améliorer la marche et l'équilibre chez les patients blessés médullaires incomplets

Mais cette technique est-elle plus efficace qu'une autre ?

Pour pouvoir répondre à cette question il faudrait faire d'avantage d'essais cliniques avec un groupe utilisant la rééducation en réalité virtuelle et un groupe utilisant une autre technique de rééducation.

Les séries de cas réalisées sont donc une ébauche dans l'étude de l'efficacité de la rééducation avec la réalité virtuelle. Les résultats prouvant une amélioration des critères de jugement avec la réalité virtuelle pousseront peut-être à investir pour entreprendre des études de qualité méthodologique supérieure utilisant un groupe contrôle.

#### 4.2 Applicabilité des résultats en pratique clinique

Les résultats des études de cette revue montrent majoritairement une amélioration de l'équilibre et de la marche chez les blessés médullaires incomplets avec la rééducation en réalité virtuelle. Cependant des études ayant une validité scientifique supérieure sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse.

La population recrutée dans ces études est représentative de la population des blessés médullaires incomplets ; ce sont des patients que l'on peut retrouver en centre, en cabinet libéral ou au domicile.

L'intervention avec la réalité virtuelle pourrait être reproduite mais sur des patients respectant les critères d'inclusion et d'exclusion des études. C'est-à-dire que les patients éligibles à cette rééducation sont des patients blessés médullaires incomplets ayant un score ASIA C ou D. Les patients présentant des troubles associés dont les troubles neurologiques perturbant la compréhension, ou les troubles orthopédiques empêchant la marche, ne seraient pas éligibles à cette rééducation.

Le coût d'un dispositif de réalité virtuelle est différent selon le type de réalité virtuelle utilisé.

Une console de jeu Nintendo Wii Fit comme utilisé dans l'étude de Wall [32] coûte environ 300 euros. Ce dispositif pourrait être installé en centres de rééducation, dans certains cabinets libéraux ou aux domiciles des patients.

L'étude de Sengupta [4] utilise le système de réalité virtuelle « Rhetoric » développé par Rehametrics et utilisé sur Xbox One avec le capteur Kinect. Le prix de ce dispositif est d'environ 800 euros. Cet équipement peut être installé en centre, en cabinet libéral et à domicile mais le prix peut être un obstacle pour le patient. Les patients ayant les moyens d'acheter ce dispositif pourraient l'installer à leur domicile, ceux n'ayant pas les moyens pourraient s'en servir dans un centre de rééducation.

Les autres systèmes de réalité virtuelle utilisés dans les autres études sont beaucoup plus coûteux.

Dans l'étude de Dijsseldonk [14], un environnement de réalité virtuelle était projeté sur un écran semi cylindrique à 180° et des marqueurs réfléchissants étaient collés sur les patients pour interagir avec l'environnement virtuel et pour capturer des données cinématiques. Les participants ont été entraînés avec le système GRAIL (Laboratoire interactif d'analyse de la démarche en temps réel). Ce dispositif coûte environ 10 000 euros, il pourrait être utilisé dans certains centres de rééducation.

L'étude de An [3] utilise le système IREX développé par Gesture Tek. Ce système utilise la technologie de pointe et a un coût de 14 000 dollars mais c'est un des systèmes les moins chers de cette catégorie, d'autres systèmes de réalité virtuelle de haute technologie peuvent coûter jusqu'à des centaines de milliers de dollars. Ce système est donc plus adapté à de grands centres de rééducation spécialisés.

Les études de Villiger (2013) [1] et Villiger (2017) [33] utilisent le système YouKicker développé par YouRehab. Ce système est disponible à la location à partir de 150 euros par mois pour les centres ou les grands cabinets libéraux.

Ces dispositifs utilisant la haute technologie nécessitent un budget conséquent ; leur utilisation est donc limitée à certains grands centres de rééducation pouvant financer de tels dispositifs. Cependant certains dispositifs utilisant les consoles de jeux vidéo comme la Nintendo Wii Fit et la Xbox Kinect sont beaucoup plus accessibles et peuvent être utilisés au domicile même du patient, dans les cabinets libéraux et dans les centres de rééducation.

#### 4.3 Qualité des preuves

Pour évaluer la qualité des preuves fournies par les articles de cette revue nous utiliserons la classification publiée par la HAS concernant le grade des recommandations des niveaux de preuve scientifique [36] :

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins.
	Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Six études sur les sept incluses dans cette revue sont des séries de cas. Celles-ci appartiennent au niveau 4 de la classification et apportent donc un faible niveau de preuve scientifique correspondant au grade C.

De plus, ces études ont été faites sur un faible nombre de participants, elles ont donc une faible puissance.

Seul un essai clinique a été trouvé sur le sujet de cette revue. La réalité virtuelle étant une nouvelle technologie, la littérature n'est pas encore abondante concernant ce sujet, mais celle-ci devrait augmenter avec l'avancée de cette technologie.

#### 4.4 Biais potentiels de la revue

Pour évaluer les biais présents dans cette revue nous utiliserons la grille R-AMSTAR [37]. C'est une grille d'évaluation de la qualité méthodologique des revues systématiques. La R-AMSTAR est une version modifiée de la grille AMSTAR où un score pour chaque question est attribué entre 1 et 4 permettant d'obtenir un score total pour la qualité de la revue.

La revue obtient un score de 30/44. [ANNEXE 6]

Cette grille nous permet de faire une liste des biais retrouvés :

- Il n'y a pas eu de publication ou inscription du protocole d'étude à l'avance
- La sélection des études et l'extraction des données n'ont pas été confiées à au moins 2 personnes car ce mémoire est un travail personnel, je l'ai donc réalisé toute seule.
- La nature de la publication était un critère d'inclusion ; j'ai recherché uniquement des études publiées en anglais, j'ai donc exclu les autres types de publications telles que les revues de littérature et les études non publiées en anglais.
- Il n'y a pas eu de test d'homogénéité ou d'utilisation d'un modèle d'effets aléatoires pour s'assurer que les résultats des études étaient combinables.
- La probabilité d'un biais de publication n'a pas été évaluée.

D'autres biais peuvent être présents dans cette revue, nous allons en discuter.

Concernant les résultats de la plupart des études, ils sont exprimés avec un écart type. Dans cette revue les écarts types sont assez larges, ce qui signifie que les valeurs sont peu précises. Il faut tenir compte de ce manque de précision dans l'interprétation des résultats : un écart type élevé signifie que les valeurs sont très dispersées autour de la moyenne, et les calculs entre les différences des moyennes peuvent donc être faussés et influencer les résultats.

Les sept études de cette revue nous montrent des différences dans les résultats qui peuvent être dues aux différences des populations recrutées. Wall et Villiger (2017) ont recruté des patients plus âgés que les autres études, or **l'âge est un facteur important dans les capacités de récupération**, les sujets jeunes ont un potentiel de récupération supérieur aux sujets âgés.

Concernant la représentation de la population des blessés médullaires incomplets, le nombre de participants est faible dans chaque étude : 5 pour Wall, 6 pour Sayenko, 10 pour An, 12 pour Villiger (2017), 14 pour Villiger (2013), 15 pour Dijsseldonk, 33 pour Sengupta.

Ce **faible nombre de participants** ne permet pas d'affirmer que les résultats obtenus seraient identiques sur l'ensemble de la population. Des études avec un nombre plus élevé de participants seraient nécessaires pour pouvoir augmenter l'applicabilité de ces résultats.

Néanmoins parmi le faible nombre de participants recrutés, le pourcentage d'hommes et de femmes inclus dans chaque étude correspond au pourcentage retrouvé dans la prévalence de la pathologie. Environ 75% des participants sont des hommes. La population recrutée est représentative de la population des blessés médullaires.

Une autre différence remarquée dans ces études est la **durée de l'intervention**. Les entraînements sont de 30 minutes pour les études de An et de Sengupta, de 45 minutes pour les études de Villiger (2013) et Villiger (2017), et de 1 heure pour les études de Wall, Dijsseldonk et Sayenko. La fréquence varie de 2 fois par semaine pour Dijsseldonk, 3 fois par semaine pour Wall, An et Sayenko, et jusqu'à 5 fois par semaine pour Sengupta, Villiger (2013) et Villiger (2017). L'intervention est réalisée sur 3 semaines pour Sengupta, 4 semaines pour Sayenko, Villiger (2013) et Villiger (2017), sur 6 semaines pour An et Dijsseldonk, et sur 7 semaines pour Wall.

L'intensité et la durée des entraînements sont différents selon les études, et cela peut influencer les résultats.

Ensuite, **le type de réalité virtuelle** utilisé est également différent selon les études.

Les études sélectionnées utilisent la réalité virtuelle non immersive ou semi immersive basée sur les jeux vidéo. Les jeux sont différents selon les études mais ils ont tous été sélectionnés pour permettre un travail de l'équilibre et de la marche.

Les critères de jugement utilisés dans les études mesurent tous l'équilibre et la marche mais les tests utilisés ne sont pas tous identiques selon les études. Par exemple pour évaluer la marche, Wall, Villiger (2013) et Villiger (2017) utilisent le test de 10 mètres de marche alors que Dijsseldonk utilise le test de 2 minutes de marche. Pour évaluer l'équilibre, Villiger (2013), Villiger (2017), An et Sengupta utilisent le test de l'équilibre de Berg alors que Dijsseldonk utilise l'échelle de l'équilibre ABC.

Les mesures ne sont donc pas comparables entre deux études utilisant deux tests différents.

Les séries de cas comme l'étude de An mesurant les critères de jugement seulement une fois avant l'intervention et une fois après l'intervention n'apportent pas la même preuve, car le résultat observé peut être dû au seul effet du temps et non forcément à l'effet de l'intervention.

D'autres séries de cas comme les études de Wall, de Villiger (2013) et de Villiger (2017), sont intéressantes car elles mesurent les critères de jugement à plusieurs points de temps avant l'intervention, ce qui permet de montrer l'évolution des valeurs au cours du temps sans intervention, puis ensuite elles mesurent après l'intervention et montrent l'effet de l'intervention. Cela permet de prouver que l'amélioration n'est pas seulement due à l'effet du temps mais à l'effet de l'intervention.

Trois quarts des études ont montré une amélioration significative avec la réalité virtuelle. Mais malheureusement ces études sont des séries de cas ; il n'y a qu'un seul groupe par étude et pas de groupe contrôle. Les résultats de ces études ont donc moins de validité scientifique que les études possédant un groupe contrôle comme les essais cliniques.

## 5 – CONCLUSION

### 5.1 Implication pour la pratique clinique

En conclusion, cette revue de littérature montre que la thérapie par les jeux en réalité virtuelle pourrait permettre une amélioration de la marche et de l'équilibre chez les blessés médullaires incomplets.

Malgré le coût élevé des dispositifs de haute technologie réduisant l'accès à cette technique à de grands centres spécialisés, certains dispositifs tels que la Nintendo Wii Fit et la Xbox Kinect sont plus abordables afin de pouvoir être utilisés dans des cabinets de kinésithérapie libéraux ou même aux domiciles des patients.

Cependant, la qualité des preuves scientifiques est faible et des biais ont été retrouvés dans les études incluses ainsi que dans cette revue ; par conséquent, pour pouvoir affirmer cette hypothèse, il faudrait des études de qualité méthodologique supérieure tels que des essais cliniques randomisés incluant un plus grand nombre de participants.

D'autres recherches sont également nécessaires afin de pouvoir produire un guide de pratique pour l'utilisation de jeux vidéo en réalité virtuelle. Ce guide de pratique préciserait :

- Le moment adéquat à l'utilisation de cette technique : en phase aiguë ou en phase chronique ? à combien de temps post lésion ?
- La durée de la séance : 30 minutes ? 1 heure ? ou plus ?
- La fréquence : 1 ou plusieurs fois par jour ? 2 fois par semaine ? 5 fois par semaine ?
- Pendant combien de temps : 4 semaines ? 3 mois ? 6 mois ?

### 5.2 Implication pour la recherche

Avant d'investir dans de tels dispositifs, les structures voudraient sûrement se renseigner sur l'efficacité de cette technique : est-elle plus efficace qu'une autre ? Sinon pourquoi investir un tel budget alors qu'elles pourraient obtenir les mêmes résultats en déboursant moins ?

C'est là encore l'intérêt de réaliser des essais cliniques permettant de comparer la rééducation en réalité virtuelle avec d'autres techniques de rééducation. Le seul essai clinique inclus dans cette revue [4] ne montre pas de différence entre l'efficacité de la rééducation en réalité virtuelle et celle de la rééducation dans le monde réel. Cependant, une seule étude ne nous permet pas de trancher sur la question si oui ou non ce dispositif est plus efficace qu'un autre.

Et même si des études plus poussées venaient à affirmer que la réalité virtuelle n'est pas plus efficace qu'une autre technique concernant la rééducation de la marche et de l'équilibre, d'autres questions se poseraient comme : que peut-elle apporter ? Des études ont montré que la réalité virtuelle permet un accroissement de la motivation du patient [38] [39] [5], d'autres études ont montré que la réalité virtuelle permettrait une réduction de la douleur neuropathique chez les blessés médullaires [40] [41] [1]. Ces études pourraient également faire l'objet de revues de littérature qui permettraient de compléter les données et les preuves scientifiques sur l'intérêt de la réalité virtuelle dans la rééducation des blessés médullaires.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Villiger M, Bohli D, Kiper D, Pyk P, Spillmann J, Meilick B, et al. Virtual reality-augmented neurorehabilitation improves motor function and reduces neuropathic pain in patients with incomplete spinal cord injury. *Neurorehabil Neural Repair* 2013;27:675–83. <https://doi.org/10.1177/1545968313490999>.
- [2] Sayenko DG, Alekhina MI, Masani K, Vette AH, Obata H, Popovic MR, et al. Positive effect of balance training with visual feedback on standing balance abilities in people with incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord* 2010;48:886–93. <https://doi.org/10.1038/sc.2010.41>.
- [3] An CM, Park YH. The effects of semi-immersive virtual reality therapy on standing balance and upright mobility function in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: A preliminary study. *J Spinal Cord Med* 2018;41:223–9. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1369217>.
- [4] Sengupta M, Gupta A, Khanna M, Krishnan UKR, Chakrabarti D. Role of Virtual Reality in Balance Training in Patients with Spinal Cord Injury: A Prospective Comparative Pre-Post Study. *Asian Spine J* 2019. <https://doi.org/10.31616/asj.2019.0013>.
- [5] Syed UE, Kamal A. Video game-based and conventional therapies in patients of neurological deficits: an experimental study. *Disabil Rehabil Assist Technol* 2019;0:1–8. <https://doi.org/10.1080/17483107.2019.1679266>.
- [6] Qu'est ce qu'une blessure médullaire? | Moelle Epinière et Motricité Québec n.d. <https://www.moelleepiniere.com/items-of-interest/quest-ce-quune-blessure-medullaire/> (accessed April 19, 2020).
- [7] Lésion médullaire incomplète | Ottobock CA n.d. <https://www.ottobock.ca/fr/orthotics/clinical-symptoms/incomplete-spinal-cord-injury/> (accessed April 19, 2020).
- [8] LES LÉSIONS MEDULLAIRES TRAUMATIQUES ET MÉDICALES : QUE SONT LA PARAPLÉGIE ET LA TÉTRAPLÉGIE ? Les lésions médullaires traumatiques et médicales (paraplégies et tétraplégies) \*. n.d.
- [9] La paraplégie et la tétraplégie | APF France handicap n.d. <https://www.apf-francehandicap.org/paraplegie-tetraplegie-6559> (accessed April 19, 2020).
- [10] Score ASIA n.d.
- [11] Blessés médullaires n.d. <http://www.fsef.net/index.php/pathologies/blesses-medullaires> (accessed April 19, 2020).
- [12] PARAPLÉGIE (lésions médullaires). 2007.
- [13] Gasq D, Molinier F, Lafosse J-M. La marche. n.d.

- [14] Van Dijsseldonk RB, De Jong LAF, Groen BE, Van Der Hulst MV, Geurts ACH, Keijsers NLW. Gait stability training in a virtual environment improves gait and dynamic balance capacity in incomplete spinal cord injury patients. *Front Neurol* 2018;9:1–12. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00963>.
- [15] Société Française de Physiothérapie - Accueil n.d. <https://www.sfphysio.fr/gene/main.php> (accessed April 19, 2020).
- [16] Équilibre — Wikipédia n.d. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Équilibre> (accessed April 19, 2020).
- [17] Équilibre statique (physiologie) — Wikipédia n.d. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Équilibre\\_statique\\_\(physiologie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Équilibre_statique_(physiologie)) (accessed April 19, 2020).
- [18] Posture et équilibre : deux notions différentes n.d. <https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/kine-osteo/posture-et-equilibre-deux-notions-differentes> (accessed April 19, 2020).
- [19] Équilibre - Test Tinetti n.d. <http://papidoc.chic-cm.fr/12tinetti.html> (accessed April 19, 2020).
- [20] Échelle d'évaluation de l'équilibre de Berg (BBS) n.d. <https://cnfs.ca/agees/tests/mesurer-la-capacite-physique/echelle-d-evaluation-de-l-equilibre-de-berg-bbs> (accessed April 19, 2020).
- [21] Réalité virtuelle — Wikipédia n.d. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Réalité\\_virtuelle](https://fr.wikipedia.org/wiki/Réalité_virtuelle) (accessed April 20, 2020).
- [22] Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality 2004. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-1-10>.
- [23] Nguyen VH, De A. e virtuelle pour la reeducation fonctionnelle Van Hanh Nguyen l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers 2011.
- [24] Maresca G, Maggio MG, Buda A, La Rosa G, Manuli A, Bramanti P, et al. A novel use of virtual reality in the treatment of cognitive and motor deficit in spinal cord injury A case report. *Med (United States)* 2018 ; 97. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000013559>.
- [25] De Mauro A, Carrasco E, Oyarzun D, Ardanza A, Frizera Neto A, Torricelli D, et al. Virtual reality system in conjunction with neurorobotics and neuroprosthetics for rehabilitation of motor disorders. *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 163, IOS Press; 2011, p. 163–5. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-706-2-163>.
- [26] Oddsson LI, Karlsson R, Konrad J, Ince S, Williams SR, Zemkova E. A rehabilitation tool for functional balance using altered gravity and virtual reality 2007. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-4-25>.
- [27] Riva G. Virtual reality in paraplegia: A vr-enhanced orthopaedic appliance for walking and rehabilitation. *Stud Health Technol Inform* 1998;58:209–18. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-902-8-209>.

- [28] Donati ARC, Shokur S, Morya E, Campos DSF, Moioli RC, Gitti CM, et al. Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients. *Sci Rep* 2016;6:1–16. <https://doi.org/10.1038/srep30383>.
- [29] Duffell LD, Paddison S, Alahmary AF, Donaldson N, Burridge J. The effects of FES cycling combined with virtual reality racing biofeedback on voluntary function after incomplete SCI: a pilot study n.d. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0619-4>.
- [30] King CE, Wang PT, Chui LA, Do AH, Nenadic Z. Operation of a brain-computer interface walking simulator for individuals with spinal cord injury. vol. 10. 2013.
- [31] Obstacle crossing in a virtual environment with the rehabilitation gait robot LOKOMAT. - PubMed - NCBI n.d. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17377335> (accessed April 21, 2020).
- [32] Wall T, Feinn R, Chui K, Cheng MS. The effects of the Nintendo™ Wii Fit on gait, balance, and quality of life in individuals with incomplete spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2015;38:777–83. <https://doi.org/10.1179/2045772314Y.0000000296>.
- [33] Villiger M, Liviero J, Awai L, Stoop R, Pyk P, Clijsen R, et al. Home-based virtual reality-augmented training improves lower limb muscle strength, balance, and functional mobility following chronic incomplete spinal cord injury. *Front Neurol* 2017;8. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00635>.
- [34] Échelle PEDro-Français. n.d.
- [35] The Joanna Briggs Institute. Checklist for Case Series 2016.
- [36] Grade HAS. 2013.
- [37] R-AMSTAR\*-ÉVALUATION DE LA QUALITE DES REVUES SYSTEMATIQUES \*AMSTAR révisé AMSTAR : a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews Comment fonctionne la liste de contrôle R--AMSTAR? n.d.
- [38] Andreikanich A, Santos BS, Amorim P, Zagalo H, Marques B, Margalho P, et al. An Exploratory Study on the use of Virtual Reality in Balance Rehabilitation\*. *Proc Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc EMBS* 2019:3416–9. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8857469>.
- [39] Vitória A, Vitória V, De Ará Ujo L, Freitas De Oliveira Neiva J, Bandeira De Mello Monteiro C, Magalhães FH. Efficacy of Virtual Reality Rehabilitation after Spinal Cord Injury: A Systematic Review 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7106951>.
- [40] Saadon-Grosman N, Arzy S. Virtual reality may relieve pain in patients with spinal cord injury. *Neurology* 2017;89:e227–30. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004592>.
- [41] Pozeg P, Palluel E, Ronchi R, Solcà M, Al-Khodairy AW, Jordan X, et al. Virtual reality improves embodiment and neuropathic pain caused by spinal cord injury. *Neurology* 2017;89:1894–903. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000004585>.

# ANNEXE 1 : Score ASIA



Nom du patient \_\_\_\_\_ Date / heure de l'examen \_\_\_\_\_  
 Nom de l'examineur \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_



DROITE		MOTEUR MUSCLES CLÉS		SENSITIF POINTS SENSITIFS CLÉS		TOUCHER (LTD) PÛRE (PPD)		MOTEUR MUSCLES CLÉS		GAUCHE	
<b>MSD</b> (membre supérieur droit)	Flexion du coude	C5									
	Extension du poignet	C6									
	Extension du coude	C7									
	Flexion du majeur	C8									
	Abduction du 5ème doigt	T1									
<b>Remarques</b> (Muscle non-clé ? Raison de NT ? Douleur ?)											
<b>MID</b> (membre inférieur droit)	Flexion de la hanche	L2									
	Extension du genou	L3									
	Dorsiflexion de cheville	L4									
	Extension du gros orteil	L5									
	Flexion plantaire de cheville	S1									
(VAC) Contraction Anale Volontaire (Oui / Non)											
<b>TOTAL DROITE</b>											
<b>SCORES MOTEURS</b>											
MSD	+	MSG	=	MS TOTAL		MID	+	MIG	=	MI TOTAL	
MAX (25)		(25)		(50)		MAX (25)		(25)		(50)	
<b>NIVEAUX NEUROLOGIQUES</b>											
Étapes de classification 1 à 5 au verso											
1. SENSITIF						3. NIVEAU LÉSIONNEL			4. COMPLETE OU INCOMPLETE		
2. MOTEUR						5. SCORE DE DEFICIENCE ASIA (AIS)			ZONE DE PRESERVATION PARTIELLE		
									SENSITIVE MOTRICE		

Ce formulaire peut être copié librement, mais ne peut pas être modifié dans la permission de l'American Spinal Cord Injury Association. Radigueur et de Crozy, 2018

### Cotation fonction musculaire

- 0 = paralysie totale
- 1 = contraction visible ou palpable
- 2 = mouvement actif dans son amplitude complète, sans pesantier
- 3 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre pesantier
- 4 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre résistance
- 5 = mouvement normal (dans son amplitude complète, contre résistance complète)
- NT = non testable (immobilisation, douleur, amputation, hypertension sur > 50% amplitude du mouvement)

### Cotation sensitive

- 0 = absente
- 1 = diminuée (appréciation partielle ou altérée, incluant hyperesthésie)
- 2 = normale
- NT = non testable

### Fonctions musculaires non clés (facultatif)

Peut être utilisé pour attribuer un niveau moteur et différencier AIS B vs C

Mouvement	Racine
Epaule : flexion, extension, abduction, adduction, rotation interne et externe	C6
Coude : supination	
Coude : pronation	C8
Poignet : flexion	
Doigt : flexion, extension	C7
Poigne : flexion, extension, abduction dans le plan	
Doigt : flexion MCP	C8
Poigne : opposition, adduction et abduction dans le plan perpendiculaire à la paume	
Doigt : abduction de l'index	T1
Hanche : adduction	L2
Hanche : rotation externe	L3
Hanche : extension, abduction, rotation interne	L4
Genou : flexion	
Cheville : inversion et éversion	
Orteils : extension MTP et IP	
Hallux et Orteils : flexion et abduction	L5
IFP et IFD	
Hallux : adduction	S1

### Echelle de déficience ASIA

**A = Complet** : aucune sensibilité ou motricité dans le territoire S4-S5.

**B = Incomplet sensitif** : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5.

**C = Incomplet moteur** : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau à un score < 3 (motricité non fonctionnelle).

**D = Incomplet moteur** : la motricité est préservée au dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au dessous de ce niveau à un score ≥ 3.

**E = Normal** : la sensibilité et la motricité sont normales. Il peut persister des anomalies des réflexes.

### Étapes de la classification

- Déterminer les niveaux sensitifs pour les côtés droit et gauche.  
Le niveau sensitif est le dernier dermatome sain pour la pique et le toucher.
- Déterminer les niveaux moteurs pour les côtés droit et gauche.  
Défini par le dernier muscle clé côté = 3, à condition que les muscles sus-jacents soient considérés intacts.  
Note : dans les régions où il n'y a pas de myotome à tester, le niveau moteur est présumé être le même que le niveau sensoriel, si la fonction motrice testable au dessus de ce niveau est également normale.
- Déterminer le niveau lésionnel  
Il s'agit de la partie la plus distale avec sensibilité intacte et force musculaire antigravitaire (≥ 3), pourvu qu'il y ait au-dessus respectivement une fonction normale. Le niveau lésionnel est la plus proximale des niveaux sensoriels et moteurs déterminés dans les étapes 1 et 2.
- Déterminer si la lésion est complète ou incomplète.  
(c'est à dire l'absence ou la présence d'épargne sacrée)  
Si la contraction anale volontaire = Non ET tous scores sensoriels S4-S5 = 0 ET la pression anale profonde = Non, alors la lésion est considérée comme Complète. Sinon, la lésion est Incomplète.
- Déterminer le score de déficience ASIA  
Est-ce une lésion complète ? Si OUI, ASIA = A et noter la zone de préservation partielle (dernier dermatome ou myotome de chaque côté avec une préservation)  
NON  
Est-ce une lésion motrice complète ? Si OUI, ASIA = B  
(Non = contraction anale volontaire OU présence d'une fonction motrice sur plus de trois niveaux au-dessous du niveau moteur sur un côté donné, si le patient a une classification sensitive incomplète)  
NON  
Y a-t-il au moins la moitié (moitié ou plus) des muscles clés en dessous du niveau neurologique lésionnel classés 3 ou mieux ?  
NON → ASIA = C  
OUI → ASIA = D  
Si la sensation et la fonction motrice sont normales dans tous les segments, alors ASIA = E (si ATCD lésion documentée)



INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI)



Évaluation motrice		Score ASIA	Identité du patient
		Date de l'examen	
C2	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	Niveau neurologique* { Sensitif droite <input type="checkbox"/> gauche <input type="checkbox"/> Moteur droite <input type="checkbox"/> gauche <input type="checkbox"/>	
C3	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	*Segment le plus caudal ayant une fonction normale	
C4	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	<b>Lésion médullaire**</b> : Complète ou Incomplète	
C5	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	** Caractère incomplet défini par une motricité ou une sensibilité du territoire S4-S5	
C6	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	<b>Échelle d'anomalie ASIA</b> : A B C D E	
C7	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	A = complète : aucune motricité ou sensibilité dans le territoire S4-S5	
C8	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	B = incomplète : la sensibilité mais pas la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5	
T1	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	C = incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score < 3	
T2	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	D = incomplète : la motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles testés au-dessous du niveau a un score ≥ 3	
T3	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	E = normale : la sensibilité et la motricité sont normales	
T4	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	<b>Préservation partielle***</b> { Sensitif droite <input type="checkbox"/> gauche <input type="checkbox"/> Moteur droite <input type="checkbox"/> gauche <input type="checkbox"/>	
T5	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	*** Extension caudale des segments partiellement intacts <input type="checkbox"/>	
T6	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G	<b>Syndrome clinique</b> : Centromédullaire <input type="checkbox"/> Brown-Sequard <input type="checkbox"/> Moelle antérieure <input type="checkbox"/> Cône terminal <input type="checkbox"/>	
T7	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
T8	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
T9	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
T10	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
T11	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
T12	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
L1	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
L2	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
L3	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
L4	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
L5	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
S1	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
S2	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
S3	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		
S4-5	<input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> G		

Évaluation sensitive			
Toucher		Piqûre	
D	G	D	G
C2	<input type="checkbox"/>	C2	<input type="checkbox"/>
C3	<input type="checkbox"/>	C3	<input type="checkbox"/>
C4	<input type="checkbox"/>	C4	<input type="checkbox"/>
C5	<input type="checkbox"/>	C5	<input type="checkbox"/>
C6	<input type="checkbox"/>	C6	<input type="checkbox"/>
C7	<input type="checkbox"/>	C7	<input type="checkbox"/>
C8	<input type="checkbox"/>	C8	<input type="checkbox"/>
T1	<input type="checkbox"/>	T1	<input type="checkbox"/>
T2	<input type="checkbox"/>	T2	<input type="checkbox"/>
T3	<input type="checkbox"/>	T3	<input type="checkbox"/>
T4	<input type="checkbox"/>	T4	<input type="checkbox"/>
T5	<input type="checkbox"/>	T5	<input type="checkbox"/>
T6	<input type="checkbox"/>	T6	<input type="checkbox"/>
T7	<input type="checkbox"/>	T7	<input type="checkbox"/>
T8	<input type="checkbox"/>	T8	<input type="checkbox"/>
T9	<input type="checkbox"/>	T9	<input type="checkbox"/>
T10	<input type="checkbox"/>	T10	<input type="checkbox"/>
T11	<input type="checkbox"/>	T11	<input type="checkbox"/>
T12	<input type="checkbox"/>	T12	<input type="checkbox"/>
L1	<input type="checkbox"/>	L1	<input type="checkbox"/>
L2	<input type="checkbox"/>	L2	<input type="checkbox"/>
L3	<input type="checkbox"/>	L3	<input type="checkbox"/>
L4	<input type="checkbox"/>	L4	<input type="checkbox"/>
L5	<input type="checkbox"/>	L5	<input type="checkbox"/>
S1	<input type="checkbox"/>	S1	<input type="checkbox"/>
S2	<input type="checkbox"/>	S2	<input type="checkbox"/>
S3	<input type="checkbox"/>	S3	<input type="checkbox"/>
S4-5	<input type="checkbox"/>	S4-5	<input type="checkbox"/>

Score «toucher» : /112  
 Score «piqûre» : /112  
 Sensibilité anale : oui/non

0 = absente  
 1 = diminuée  
 2 = normale  
 NT, non testable

## ANNEXE 2 : ECHELLE DE L'ÉQUILIBRE DE BERG

### 1. Passer de la position assise à debout

INSTRUCTIONS : Veuillez vous lever en essayant de ne pas vous aider avec les mains.

- 4 : Peut se lever sans l'aide des mains et garder son équilibre
- 3 : Peut se lever seul avec l'aide de ses mains
- 2 : Peut se lever en s'aidant de ses mains, après plusieurs essais
- 1 : Besoin d'un peu d'aide pour se lever ou garder l'équilibre
- 0 : Besoin d'une aide modérée ou importante pour se lever

### 2. Se tenir debout sans appui

INSTRUCTIONS : Essayez de rester debout 2 minutes sans appui.

- 4 : Peut rester debout sans danger pendant 2 minutes
- 3 : Peut tenir debout pendant 2 minutes, sous surveillance
- 2 : Peut tenir debout 30 secondes sans appui, sous surveillance
- 1 : Doit faire plusieurs essais pour tenir debout 30 sec sans appui
- 0 : Est incapable de rester debout 30 sec sans aide

***Si un sujet est capable de tenir debout 2 minutes sans appui, donnez un pointage de 4 pour se tenir assis sans appui. Continuez à l'item #4.***

### 3. Se tenir assis sans appui, pieds au sol ou sur un tabouret

INSTRUCTIONS : SVP Assoyez-vous avec les bras croisés pour deux minutes.

- 4 : Peut rester assis sans danger pendant 2 minutes
- 3 : Peut rester assis pendant 2 minutes, sous surveillance
- 2 : Peut rester assis pendant 30 secondes, sous surveillance
- 1 : Peut rester assis pendant 10 secondes, sous surveillance
- 0 : Est incapable de rester assis 10 secondes sans appui

### 4. Passer de la position debout à assise

INSTRUCTIONS : SVP Asseyez-vous.

- 4 : Peut s'asseoir correctement en s'aidant légèrement des mains

- 3 : Contrôle la descente avec les mains
- 2 : Contrôle la descente avec le derrière des jambes sur la chaise
- 1 : S'asseoir sans aide, sans contrôler la descente
- 0 : A besoin d'aide pour s'asseoir

## 5. Transferts

INSTRUCTIONS : Placez la chaise pour un transfert pivot. Allez de la chaise (avec accoudoirs) à la chaise (sans accoudoir) et revenez.

- 4 : Exécute sans difficulté, en s'aidant un peu des mains
- 3 : Exécute sans difficulté, en s'aidant beaucoup des mains
- 2 : Exécute avec des instructions verbales et/ou surveillance
- 1 : A besoin d'être aidé par quelqu'un
- 0 : A besoin de l'aide/surveillance de deux personnes

## 6. Se tenir debout les yeux fermés

INSTRUCTIONS : Fermez les yeux et restez immobile 10 secondes.

- 4 : Peut se tenir debout sans appui pendant 10 secondes, sans danger
- 3 : Peut se tenir debout pendant 10 secondes, sous surveillance
- 2 : Peut se tenir debout pendant 3 secondes
- 1 : Incapable de fermer les yeux 3 secondes, mais garde l'équilibre
- 0 : A besoin d'aide pour ne pas tomber

## 7. Se tenir debout les pieds ensemble

INSTRUCTIONS : Placez vos pieds ensemble.

- 4 : Peut joindre les pieds sans aide et rester debout 1 minute, sans danger
- 3 : Peut joindre les pieds sans aide et rester debout 1 minute, sous surveillance
- 2 : Peut joindre les pieds sans aide mais ne peut rester debout plus de 30 secondes
- 1 : A besoin d'aide pour joindre les pieds mais peut tenir 15 secondes
- 0 : A besoin d'aide et ne peut tenir 15 secondes

## 8. Déplacement antérieur bras étendus

INSTRUCTIONS : Levez les bras à 90°. Étendez les doigts et allez le plus loin possible vers l'avant.

- 4 : Peut se pencher sans danger, 25 cm (10 pouces) et plus
- 3 : Peut se pencher sans danger, entre 12 et 25 cm (5 et 10 pouces)
- 2 : Peut se pencher sans danger, entre 5 et 12 cm (2 et 5 pouces)
- 1 : Peut se pencher, mais sous surveillance
- 0 : A besoin d'aide pour ne pas tomber

## 9. Ramasser un objet par terre

INSTRUCTIONS : Ramassez votre chaussure qui est devant vos pieds.

- 4 : Peut ramasser sa chaussure facilement et sans danger
- 3 : Peut ramasser sa chaussure mais sous surveillance
- 2 : Ne peut ramasser sa chaussure mais s'arrête à 2-5 cm (1-2 pouces) de l'objet et garde l'équilibre
- 1 : Ne peut ramasser sa chaussure, a besoin de surveillance
- 0 : Incapable d'exécuter l'exercice/a besoin d'aide pour ne pas tomber

## 10. Se retourner pour regarder par-dessus l'épaule gauche et l'épaule droite

INSTRUCTIONS : Retournez-vous et regardez directement derrière vous par-dessus votre épaule gauche. Faites le même mouvement à droite.

- 4 : Se retourne des deux côtés ; bon déplacement du poids
- 3 : Se retourne d'un côté seulement, mauvais déplacement du poids de l'autre côté
- 2 : Se retourne de profil seulement en gardant son équilibre
- 1 : A besoin de surveillance
- 0 : A besoin d'aide pour ne pas tomber

## 11. Pivoter sur place (360 degrés)

INSTRUCTIONS : Faites un tour complet de 360° et arrêtez. Puis, faites un autre tour complet de l'autre côté.

- 4 : Peut tourner 360° sans danger de chaque côté en < 4 secondes
- 3 : Peut tourner 360° sans danger d'un seul côté en < 4 secondes

- 2 : Peut tourner 360° sans danger mais lentement
- 1 : A besoin de surveillance ou de directives verbale
- 0 : A besoin d'aide pour ne pas tomber

### **12. Debout et sans support, placement alternatif d'un pied sur une marche ou tabouret**

INSTRUCTIONS : Placez en alternance un pied sur un tabouret. Continuez jusqu'à ce que chaque pied ait touché le tabouret au moins 4 fois.

- 4 : Peut tenir sans appui, sans danger et toucher 8 fois en 20 secondes
- 3 : Peut tenir debout sans appui et toucher 8 fois en plus de 20 secondes
- 2 : Peut toucher 4 fois sans aide et sous surveillance.
- 1 : Ne peut toucher plus de 2 fois ; a besoin d'aide
- 0 : A besoin d'aide pour ne pas tomber/ne peut faire l'exercice

### **13. Se tenir debout sans appui, un pied devant l'autre (noter le pied devant)**

INSTRUCTIONS : Placez un pied devant l'autre, le talon en contact avec les orteils de l'autre jambe. Si impossible, faites un grand pas.

- 4 : Peut placer un pied directement devant l'autre sans aide et tenir la position 30 secondes. NOTE : Continuer de chronométrer jusqu'à 60 secondes.
- 3 : Peut faire un grand pas sans aide et tenir la position 30 secondes
- 2 : Peut faire un petit pas sans aide et tenir la position 30 secondes
- 1 : A besoin d'aide pour faire un pas mais peut tenir 15 secondes
- 0 : Perd l'équilibre en faisant un pas ou en essayant de se tenir debout.

### **14. Se tenir debout sur une jambe (noter la jambe utilisée)**

INSTRUCTIONS : Tenez-vous sur une jambe le plus longtemps possible, sans prendre appui.

- 4 : Peut lever une jambe sans aide et tenir plus de 10 secondes (Continuer de chronométrer jusqu'à 60 secondes)
- 3 : Peut lever une jambe sans aide et tenir de 5 à 10 secondes
- 2 : Peut lever une jambe sans aide et tenir de 3 à 5 secondes
- 1 : Essaie de lever une jambe mais ne peut tenir 3 secondes tout en restant debout, sans aide
- 0 : Ne peut exécuter l'exercice ou a besoin d'aide pour ne pas tomber

## ANNEXE 3 : Descriptions des études incluses

*Gait Stability Training in a Virtual Environment Improves Gait and Dynamic Balance Capacity in Incomplete Spinal Cord Injury Patients*, R. Van Dijksseldonk, 2018

Méthode	Série de cas
Participants	<p><b>Nombre</b> : 15 <b>Age moyen</b> : 59 ans <b>Pathologie</b> : lésion médullaire incomplète chronique</p> <p><b>Critères d'inclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Phase chronique : lésion supérieure à 6 mois</li><li>- ASIA C ou D</li><li>- Pouvoir marcher indépendamment sans assistance pendant 2 minutes</li></ul> <p><b>Critères d'exclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Incapacité de marcher en mode autonome du GRAIL sans utiliser les mains courantes</li><li>- Autres déficiences neurologiques</li><li>- Autres déficiences des membres inférieurs (en plus de la lésion médullaire)</li><li>- Problèmes de vision</li><li>- Problèmes de marche / équilibre avant la lésion</li></ul>
Interventions	<p>Le GRAIL se compose d'un tapis roulant et d'un système de capture de mouvement à caméras. La plateforme est capable de se déplacer dans plusieurs directions pour générer des perturbations mécaniques. Devant le tapis roulant, des environnements de réalité virtuelle sont projetés sur un écran semi-cylindrique de 180°. Des marqueurs réfléchissants ont été collés sur les patients pour interagir avec l'environnement virtuel et pour capturer des données cinématiques.</p> <p>La formation GRAIL consiste en 12 sessions de formation d'une heure réparties sur une période de 6 semaines. Les applications sont choisies en fonction de l'objectif de réadaptation spécifique et du niveau actuel du patient. Elles sont classées en 3 thèmes : "Adaptabilité de la démarche", "Marche+", "Equilibre en position".</p> <p>La première session de formation GRAIL a été utilisée pour se familiariser avec le système GRAIL. De la deuxième à la dernière séance d'entraînement, l'intensité et la complexité de l'entraînement ont été progressivement et individuellement augmentées.</p> <p>Les mesures ont été prises à la 2<sup>ème</sup>, à la 3<sup>ème</sup>, à la 12<sup>ème</sup> session puis 6 mois après la dernière session.</p>

Résultats	<p><b>Critères de jugement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Test de 2 minutes de marche</li> <li>- Mesure des paramètres spacio-temporels : Vitesse de marche, Longueur du pas, Largeur du pas, Fréquence de la foulée</li> <li>- Mesure de la stabilité de la marche : position du centre de Masse</li> <li>- Mesure de l'équilibre : Echelle ABC</li> </ul> <p>→ Augmentation de la vitesse de marche  → Augmentation de la longueur du pas  → Augmentation de la stabilité de la marche  → Augmentation du score ABC</p>
-----------	---

*Role of Virtual Reality in Balance Training in Patients with Spinal Cord Injury: A Prospective Comparative Pre-Post Study, M. Sengupta, 2019*

Méthode	Etude comparative (avant/après) prospective
Participants	<p><b>Pathologie :</b> lésion médullaire  <b>Groupe expérimental :</b> 21 patients, âge moyen : 28 ans, 17 H / 4 F  <b>Groupe témoin :</b> 12 patients, âge moyen : 30 ans, 10 H / 2 F</p> <p><b>Critères d'inclusion :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésion inférieure à 6 mois</li> <li>- Age : 18 à 60 ans</li> <li>- Niveau de la lésion : C5 ou inférieur</li> <li>- ABD des 2 épaules &gt; 90°</li> </ul> <p><b>Critères d'exclusion :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déficience visuelle ou cognitive</li> <li>- Déficience neurologique ou orthopédique grave qui interfère avec la position assise</li> <li>- Lésion progressive et non traumatique de la moelle épinière</li> </ul>
Interventions	<p><b>Groupe expérimental :</b>  Traitement conventionnel + formation en réalité virtuelle semi immersive.  5 jours par semaine pendant 3 semaines consécutives.  Chaque session est composée de 5 minutes d'échauffement puis de 30 minutes de jeu.</p> <p>Tous les jeux sélectionnés sont axés sur l'équilibre statique et dynamique.</p>

	<p><b>Groupe témoin :</b>          Traitement conventionnel          Proposition à chaque participant d'un programme d'exercices individualisés en fonction des besoins et des objectifs du patient.</p>
Résultats	<p><b>Critères de jugement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Echelle de l'équilibre de Berg (BBS)</li> <li>- Tinetti – Evaluation de la mobilité axée sur les performances (POMA)</li> <li>- Score de portée fonctionnelle (FRS)</li> </ul> <p>Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les groupes en ce qui concerne les scores avant et après la thérapie.</p>

*Virtual Reality–Augmented Neurorehabilitation Improves Motor Function and Reduces Neuropathic Pain in Patients With Incomplete Spinal Cord Injury, M. Villiger, 2013*

Méthode	Etude comparative avant – après traitement
Participants	<p><b>Nombre :</b> 14 (9 H / 5 F)  <b>Pathologie :</b> Lésion médullaire incomplète chronique  <b>Age :</b> 28 à 71 ans  <b>Etiologie :</b> 7 traumatique / 7 médicale  <b>Niveau de la lésion :</b> C4 à T12  <b>Score ASIA :</b> 12 ASIA D / 2 ASIA C  <b>Date de la lésion :</b> 1 à 20 ans</p> <p><b>Critères d'inclusion :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésion médullaire incomplète</li> <li>- Chronique : &gt; 1 ans</li> <li>- Niveau de la lésion inférieur à C4</li> <li>- Capable de s'asseoir sur une chaise sans systèmes d'assistance et de soutien</li> <li>- ASIA C ou D</li> </ul> <p><b>Critères d'exclusion :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Troubles psychiatriques ou autres troubles neurologiques</li> <li>- Blessures à la tête entraînant une déficience cognitive ou visuelle</li> <li>- Spasticité limitant la performance des mouvements des membres inférieurs</li> <li>- Médicaments influençant la capacité à suivre une thérapie pendant 45 minutes</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Symptômes de dépression (score &gt;14 sur l'inventaire de la dépression de Beck)</li> </ul>
Interventions	<p>Système de thérapie par réalité virtuelle pour les membres inférieurs combinant l'observation de l'action et l'exécution.</p> <p><b>Footbag</b> : Un exercice simple dans lequel le patient jongle avec un ballon entre le pied gauche et le pied droit, en utilisant des mouvements de flexion dorsale de la cheville.</p> <p><b>Hamster Splash</b> : les hamsters courent jusqu'aux orteils du patient. La tâche du patient consiste à effectuer une flexion dorsale de la cheville pour lancer chaque hamster dans une piscine. Plus le mouvement est rapide plus le score est élevé.</p> <p><b>Star Kick</b> : Le patient effectue une extension du genou en donnant un coup de pied à un ballon vers les étoiles affichées.</p> <p><b>Planet Drive</b> : Les voitures se déplacent sur une autoroute vers les pieds virtuels. La tâche du patient est d'éviter de toucher les voitures en inclinant la partie inférieure de la jambe sur le côté.</p> <p>Les patients ont été formés aux 4 tâches de RV pendant une période de 4 semaines, à raison de 16 à 20 séances de 45 minutes (4 à 5 par semaine).</p>
Résultats	<p><b>Critères de jugement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitesse de marche : Test de marche de 10 mètres</li> <li>- Equilibre : échelle de Berg (BBS)</li> <li>- Mobilité : Mesure d'indépendance de la moelle épinière (SCIM) / Indice de marche pour les lésions de la moelle épinière II (WISCI II)</li> <li>- Douleur neuropathique : échelle de la douleur neuropathique (NPS)</li> <li>- Effet de soulagement autodéclaré : méthode de Farrar et al</li> <li>- Locomotion : système d'analyse du mouvement en 3D</li> </ul> <p>Des augmentations de la vitesse de marche ont été constatées, avec une augmentation de 11,9 % à l'évaluation postérieure et une persistance de 9,8 % au suivi.</p> <p>Les scores d'équilibre se sont améliorés de 16,5 % lors de l'évaluation postérieure, qui s'est maintenue à 13 % lors du suivi.</p> <p>La force musculaire a augmenté de 7,3 % lors de l'évaluation postérieure et de 6,6 % lors du suivi.</p> <p>La mobilité telle que mesurée par le SCIM s'est améliorée de 8,5 % à l'évaluation postérieure et est restée à 9,6 % au suivi, tandis que la WISCI II s'est améliorée de 12 % dans les deux points de mesure.</p> <p>On a également constaté une diminution de l'intensité de la douleur : 38,9 % à l'évaluation postérieure et 36,3 % au suivi. Les désagréments liés à la douleur ont diminué de 37,9 % après l'évaluation et de 29,6 % après le suivi.</p>

	<p>Des augmentations significatives ont été constatées pour tous les patients en ce qui concerne le score BBS, la force musculaire et la mobilité, tant lors de l'évaluation de suivi que de l'évaluation postérieure.</p> <p>Pour l'évaluation de la locomotion 7 des patients ont pu participer. Pour le groupe témoin, 7 sujets sains ont été recrutés.</p> <p>L'amplitude de la dorsiflexion de la cheville a augmenté au moins unilatéralement chez 6 des 7 patients après le traitement.</p> <p>La faiblesse de l'extenseur du genou a été améliorée après le traitement chez 4 des 7 patients.</p>
--	---

*The effects of semi-immersive virtual reality therapy on standing balance and upright mobility function in individuals with chronic incomplete spinal cord injury: A preliminary study, C. An, 2018*

Méthode	Série de cas, étude comparative avant – après traitement
Participants	<p><b>Nombre</b> : 10 (6 H / 4 F)</p> <p><b>Pathologie</b> : lésion médullaire chronique (&gt;1 ans), ASIA C (4) ou D (6)</p> <p><b>Age</b> : 28 à 54 ans</p> <p><b>Niveau de la lésion</b> : C2 à T1</p> <p><b>Critères d'inclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacité à marcher de manière autonome avec ou sans appareil d'assistance sur une distance supérieure à 10 m</li> <li>- Capacité à tolérer la station debout pendant au moins cinq minutes sans aide extérieure</li> </ul> <p><b>Critères d'exclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déficiences ou douleurs orthopédiques des membres inférieurs</li> <li>- Utilisation d'appareils de stabilisation de la colonne vertébrale pouvant limiter la mobilité</li> <li>- Incapacité à reconnaître un objet présenté sur un écran en raison d'une déficience visuelle</li> <li>- Incapacité à suivre un programme d'intervention</li> </ul>
Interventions	<p>Chaque sujet a suivi une thérapie de réalité virtuelle (RV) semi-immersive de 30 minutes par jour, 3 fois par semaine pendant 6 semaines.</p> <p>Un système d'exercices interactifs de réadaptation (IREX) a été utilisé pour la thérapie par RV.</p>

	<p>Sur les 20 programmes disponibles sur l'IREX, 6 étaient inclus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Football</li> <li>- Convoyeur</li> <li>- Volley-ball</li> <li>- Formule de course</li> <li>- Aérien</li> <li>- Snow-board</li> </ul> <p>Chaque programme a été réalisé pendant 4 minutes avec une pause d'une minute entre les programmes.</p>
Résultats	<p><b>Critères de jugement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Echelle de l'équilibre de Berg (BBS)</li> <li>- Limite de stabilité (LOS) : global (OLOS), directionnel (DLOS)</li> <li>- Timed Up &amp; Go (TUG)</li> <li>- ABC scale</li> <li>- Indice de marche pour les lésions de la moelle épinière-II (WISCI-II)</li> </ul> <p>Après l'application d'une thérapie de RV semi-immersive pendant 6 semaines, sur le test d'équilibre debout informatisé, le score OLOS a augmenté de manière significative d'avant à après l'intervention.</p> <p>En particulier, les scores DLOS (plus affecté / moins affecté) ont été sensiblement améliorés après le traitement.</p> <p>Cependant, les scores DLOS (avant / arrière) n'ont pas différencié de manière significative après la thérapie.</p> <p>Dans le test d'équilibre clinique, le score BBS a augmenté de manière significative après l'intervention.</p> <p>Les résultats de la fonction de mobilité verticale ont montré que le temps du TUG était considérablement réduit, tandis que le score sur l'échelle ABC était considérablement augmenté.</p> <p>Le score WISCI-II après intervention a montré une amélioration significative.</p>

*The effects of the Nintendo™ Wii Fit on gait, balance, and quality of life in individuals with incomplete spinal cord injury, T. Wall, 2015*

Méthode	Série de cas, étude comparative pré et post traitement
Participants	<p><b>Participants</b> : 5 hommes</p> <p><b>Pathologie</b> : lésion médullaire incomplète</p> <p><b>Age</b> : 50 à 64 ans</p>

	<p><b>Niveau de la lésion</b> : C4 à L1 (C4 ; C5 ; C6 ; L1)  <b>Durée de la lésion</b> : 1 à 15 ans</p> <p><b>Critères d'inclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésion médullaire incomplète chronique : &gt; 1 ans</li> <li>- ASIA D</li> <li>- Ne nécessite pas plus qu'une assistance minimale pour marcher 10 mètres, ce qui correspond à un score supérieur à 6 sur l'échelle 0-20 de l'indice de marche pour lésion de la moelle épinière II (WISCI-II)</li> <li>- Pouvoir tolérer une station debout statique pendant au moins 5 minutes d'affilée avec une assistance minimale</li> </ul> <p><b>Critères d'exclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déficience orthopédique importante ou douleur qui limiterait la station debout ou l'ambulation</li> <li>- Dispositifs de stabilisation de la colonne vertébrale qui pourraient limiter la mobilité</li> </ul>
Interventions	<p>Utilisation d'un système d'entraînement en réalité virtuelle standard, le Nintendo™ Wii Fit, sur la démarche, l'équilibre et la qualité de vie des personnes atteintes de lésions médullaires incomplètes.</p> <p>Chaque session était d'une heure, 2 fois par semaine pendant 7 semaines.</p> <p>Les séances consistaient en plusieurs jeux du Nintendo™ Wii Fit pour favoriser le déplacement des poids, la stabilité, l'équilibre et la coordination.</p> <p>Les sujets jouaient à des jeux axés sur les composantes de la démarche, comme décrit par Behrman et al.</p> <p>Les jeux étaient variés de façon aléatoire tout au long de chaque session.</p>
Résultats	<p><b>Critères de jugement</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitesse de marche : Test de 10 mètres de marche</li> <li>- Mobilité fonctionnelle : Timed Up &amp; Go (TUG)</li> <li>- Equilibre : Test de portée fonctionnelle avant (FFRT)  Test de portée fonctionnelle latérale (LFRT)</li> <li>- Qualité de vie : RAND SF-36</li> </ul> <p>Il y a eu une augmentation significative de la vitesse de marche, de la FFRT et de la LFRT, de la pré-intervention à la post-intervention.</p> <p>En revanche, aucun changement n'a été enregistré pour le TUG.</p> <p>Le SF-36, mesuré uniquement lors du premier pré-test et du premier post-test, n'était pas significatif, mais il y a eu une augmentation apparente du pré-test au post-test.</p>

*Home-Based Virtual reality - augmented Training improves lower limb Muscle strength, Balance, and Functional Mobility following chronic incomplete spinal cord injury*, M. Villiger, 2017

Méthode	Série de cas, étude comparative avant – après traitement
Participants	<p><b>Nombre</b> : 12  <b>Pathologie</b> : lésion médullaire incomplète chronique  <b>Age</b> : 41 à 74 ans</p> <p><b>Critères d'inclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésion médullaire incomplète chronique (&gt;1 ans)</li> <li>- Niveau de la lésion en dessous de C4</li> <li>- Pas de nécessité d'aucun système d'assistance et de soutien pour s'asseoir sur une chaise</li> <li>- ASIA C ou D</li> </ul> <p><b>Critères d'exclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Blessures à la tête entraînant une déficience cognitive ou visuelle</li> <li>- Spasticité limitant les mouvements des membres inférieurs</li> <li>- Médicaments influençant la thérapie</li> <li>- Limitation psychiatrique</li> <li>- Symptômes dépressifs (score &gt;14, inventaire de dépression de Beck)</li> <li>- Autres troubles neurologiques</li> </ul>
Interventions	<p>Formation à la réalité virtuelle à domicile  Système de thérapie par RV avec des représentations virtuelles des pieds et des jambes à la première personne sur un ordinateur portable entraînant les membres inférieurs en combinant l'observation de l'action et l'exécution.  Cinq scénarios de RV ont été fournis sur le système d'entraînement pour entraîner les mouvements des pieds et des jambes en position assise et debout.</p> <p><b>Footbag</b> : le sujet jongle avec une balle entre le pied gauche et le pied droit. Une flexion dorsale de la cheville est effectuée pour éviter que le pied ne traîne.</p> <p><b>Hamster Splash</b> : les hamsters se précipitent aux pieds du sujet. Avec une flexion dorsale de la cheville, le sujet lance chaque hamster dans une piscine. Des scores plus élevés sont obtenus lorsque les mouvements de la cheville sont plus rapides.</p> <p><b>Se rendre au jeu - Activité de la vie quotidienne</b> : un avatar, représentant le sujet, se rend de chez lui à un stade en passant par une station de tramway, le plus rapidement possible. Pour faire bouger l'avatar, le sujet doit alternativement lever ses pieds. En augmentant l'amplitude des mouvements</p>

	<p>de la cheville et en effectuant des mouvements plus rapides, le sujet peut obtenir un meilleur score grâce à des pas plus rapides et plus grands.</p> <p><b>Star Kick</b> : Les extensions du genou sont réalisées par les sujets qui frappent du pied une balle vers les étoiles présentées.</p> <p><b>Planet Drive</b> (assis) : Les voitures roulent sur une route vers des pieds virtuels. Le bas des jambes est incliné sur le côté pour éviter de toucher les voitures.</p> <p>Tous les sujets ont été formés à domicile sur les tâches de RV sur une période de 4 semaines, avec 16-20 sessions de 30-45 min chacune.</p>
<p>Résultats</p>	<p><b>Critères de jugement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Score moteur des membres inférieurs (LEMS)</li> <li>- Echelle de l'équilibre Berg (BBS)</li> <li>- Timed Up and Go (TUG),</li> <li>- Test de marche de 10 m (10MWT)</li> <li>- Indice de marche pour les lésions de la moelle épinière (WISCI) II</li> <li>- Test de marche de 6 min (6minWT)</li> <li>- Mesure d'indépendance de la moelle épinière (SCIM) III</li> </ul> <p>MCID : différences minimales cliniquement importantes</p> <p>Pas de différence des résultats des mesures entre 4 mois avant le traitement (pré-base) et juste avant le traitement (base), ce qui est une indication de la stabilité des résultats pour les sujets inclus avant l'intervention.</p> <p>Lors de la post-évaluation, des augmentations significatives par rapport à la moyenne de la pré-base et de la base ont été constatées dans les principales mesures de résultats telles que la force musculaire (LEMS), l'équilibre (BBS) et la mobilité fonctionnelle (TUG).</p> <p>7 sujets ont amélioré (d'au moins un grade) la flexion dorsale de cheville. Les mesures des résultats secondaires n'ont montré aucun effet significatif en ce qui concerne la vitesse/la distance de marche et la mobilité : 10MWT, 6minWT ; SCIM III et WISCI II.</p> <p>Lors de l'évaluation de suivi, on a constaté une augmentation significative de la mobilité fonctionnelle (TUG) par rapport à la moyenne de la pré-base et de la base. Aucun changement significatif n'a été constaté dans la force musculaire (LEMS) et l'équilibre (BBS) ainsi que dans la vitesse/distance de marche et la mobilité : 10MWT, 6minWT, mobilité SCIM III et WISCI II.</p>

*Positive effect of balance training with visual feedback on standing balance abilities in people with incomplete spinal cord injury, DG Sayenko, 2010.*

Méthode	Série de cas – Etude comparative pré – post intervention
Participants	<p><b>Nombre</b> : 6 (5H / 1F)  <b>Pathologie</b> : lésion motrice et sensorielle incomplète de la moelle épinière, ASIA C (4) et D (2)  <b>Niveau de la lésion</b> : C4 (2) ; T10 (2) ; T11 (1) ; T12 (1)  <b>Durée de la lésion</b> : 3 à 23 ans  <b>Age</b> : 27 à 62 ans</p> <p><b>Critères d'inclusion</b> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Au moins 12 mois après la blessure pour assurer la stabilité de l'état neurologique des participants</li> <li>- Capacité à rester debout pendant au moins 5 minutes sans aucune forme d'aide</li> <li>- Capacité à marcher 10 mètres ou plus avec ou sans l'aide de barres latérales parallèles</li> </ul>
Interventions	<p>Système de réalité virtuelle à feedback visuel pour l'entraînement de l'équilibre. 3 jours par semaine / total : 12 sessions</p> <p><b>Exercice de "cercle"</b> : une cible déplacée autour du centre de l'écran. Le participant a été chargé de suivre la cible et de maintenir l'indicateur COP au-dessus de celle-ci.</p> <p><b>Lors de l'exercice "cible"</b>, il était demandé au participant de maintenir l'indicateur de COP au centre d'une cible aussi immobile que possible.</p> <p><b>Dans l'exercice de "chasse"</b>, une cible apparaissait à l'écran dans des endroits aléatoires. Une fois que l'indicateur de COP était maintenu "immobile" dans les limites de la cible pendant 3 s, la cible réapparaissait dans un autre endroit.</p> <p><b>Dans l'exercice de l'"octaèdre"</b>, huit cibles ont été préenregistrées à un angle de 45 degrés les unes par rapport aux autres autour du centre. On a demandé au participant de déplacer l'indicateur de COP vers chaque cible et de maintenir la position pendant 5 s.</p> <p><b>Dans l'exercice "basket"</b>, trois cibles (balles) de couleurs différentes sont apparues en haut de l'écran. Le participant devait "capturer" la cible et la "glisser" dans le panier de la couleur correspondante.</p> <p><b>Dans l'exercice "ski"</b>, le participant devait simuler une descente de ski.</p> <p>La durée de chaque exercice variait de 1 à 2min</p>

	Le score a été calculé sur la base du temps cumulé pendant lequel l'indicateur COP a dépassé les objectifs ou/et sur la base du nombre d'essais réussis.
Résultats	<p><b>Critères de jugement :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau de performance (en %) et d'apprentissage</li> <li>- Test de stabilité statique avec : la distance moyenne quadratique (RDIST), la surface de l'ellipse de confiance à 95 % (AREA-CE) et la vitesse moyenne (MVELO).</li> <li>- Test de stabilité dynamique avec la zone de stabilité (AREA-SZ)</li> </ul> <p>Après l'entraînement à l'équilibre avec retour visuel, tous les participants ont montré une amélioration substantielle des scores de chaque exercice.</p> <p>La performance d'équilibre pendant l'évaluation statique et dynamique a été améliorée de manière significative après la formation.</p>

## ANNEXE 4 : Echelle PEDro

### 1. Les critères d'éligibilité ont été précisés

Commentaires sur l'application de l'échelle : Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.

Explication : Ce critère influence la validité externe, mais non la validité interne ou la validité statistique de l'essai. Il a été retenu dans l'échelle PEDro comme tous les autres items de l'échelle Delphi. Cet item n'est pas utilisé pour calculer le score PEDro.

### 2. Les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement)

Commentaires sur l'application de l'échelle : Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancer de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.

Explication : L'attribution aléatoire (randomisation) assure (sous réserve des contraintes produites par la chance) que le traitement et l'intervention contrôle sont comparables.

### 3. La répartition a respecté une assignation secrète

Commentaires sur l'application de l'échelle : Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.

Explication : "Secrète" signifie que la personne qui détermine si les sujets sont éligibles pour être inclus dans l'essai n'était pas au courant, au moment où il ou elle a pris la décision de l'inclure, dans quel groupe le sujet serait attribué. Si l'assignation n'est pas secrète, il y a un risque potentiel que la décision de l'inclusion de la personne dans l'essai soit influencée par la connaissance du fait qu'elle recevra ou non le traitement. Cela peut introduire des biais systématiques dans le processus d'attribution et rendre invalide la répartition au hasard (randomisation). Il existe des données expérimentales sur le fait que l'attribution secrète a un impact sur la taille de l'effet (une assignation secrète est associée avec une taille de l'effet du traitement plus modeste).

#### **4. Les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.

Explication : Ce critère peut être source de différents biais qui apparaissent par hasard suite à la répartition aléatoire. Des différences importantes entre les groupes peuvent être liées à une procédure de randomisation inadéquate.

#### **5. Tous les sujets étaient "en aveugle"**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "*en aveugle*" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "*en aveugle*" si le sujet l'est aussi.

Explication : Dire que les sujets traités sont "*en aveugle*" implique l'assurance que les sujets étaient incapables de discriminer s'ils avaient reçu ou non le traitement. Quand les sujets sont "*en aveugle*", le lecteur peut conclure que l'effet apparent (ou l'absence d'effet) du traitement n'était pas dû aux effets placebo ou à l'effet de Hawthorne (un artefact expérimental au cours duquel les réponses des sujets sont déformées par la manière dont les expérimentateurs souhaitent qu'ils répondent).

#### **6. Tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "*en aveugle*" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "*en aveugle*" si le sujet l'est aussi.

Explication : Dire que les thérapeutes sont "*en aveugle*" implique l'assurance que les thérapeutes étaient incapables de discriminer si chaque sujet recevait ou ne recevait pas le traitement. Quand les thérapeutes sont "*en aveugle*", le lecteur peut conclure que l'effet

apparent (ou l'absence d'effet) du traitement n'était pas dû à "l'enthousiasme" du thérapeute ou à son manque d'enthousiasme pour le traitement ou les interventions proposées au groupe contrôle.

### **7. Tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "en aveugle" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "en aveugle" si le sujet l'est aussi.

Explication : Dire que les examinateurs sont "en aveugle" implique l'assurance que les personnes réalisant les évaluations des patients étaient incapables de discriminer si chaque sujet recevait ou ne recevait pas le traitement. Quand les examinateurs sont "en aveugle", le lecteur peut conclure que l'effet apparent (ou l'absence d'effet) du traitement n'était pas dû à des biais de l'évaluateur qui aurait affecté les mesures de résultats.

### **8. Les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement à *la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.

Explication : Il est important que les mesures des résultats soient faites sur tous les sujets qui ont été randomisés dans les groupes. Les sujets qui n'ont pas pu être suivis peuvent différer de manière systématique par rapport à ceux qui ont été suivis. Cela peut entraîner un biais. L'amplitude de ce biais potentiel augmente avec la proportion de sujets qui n'ont pas pu être suivis.

### **9. Tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter"**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Une *analyse en intention* de traiter signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme

attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.

Explication : Presque inévitablement, il y a des écarts au protocole dans les essais cliniques. Ces écarts peuvent aboutir au fait que certains patients n'ont pas reçu le traitement initialement planifié, ou qu'ils ont reçu le traitement qu'ils ne devaient pas recevoir. L'analyse des données en s'appuyant sur le traitement effectivement reçu par les patients (au lieu du traitement qu'ils étaient censés recevoir) peut produire des biais. C'est important d'analyser les données comme si les patients avaient reçu le traitement ou l'intervention contrôle comme initialement planifié. Cela s'appelle "l'analyse en intention de traiter".

#### **10. Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple : différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hasard ratio") et de son intervalle de confiance.

Explication : Dans les essais cliniques, les tests statistiques sont réalisés pour déterminer si la différence observée entre les groupes est plus grande que celle que l'on pourrait attribuer au simple hasard.

#### **11. Pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité**

Commentaires sur l'application de l'échelle : Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Explication : Les essais cliniques fournissent une estimation relativement non biaisée de la taille de l'effet du traitement. La meilleure estimation (estimation ponctuelle) de l'effet du traitement est la différence (ou un ratio) entre les résultats du groupe traité et ceux du groupe contrôle. Une mesure du degré d'incertitude associée à cette estimation peut être calculée uniquement si l'étude fournit des mesures de variabilité.

### **Pour tous les critères**

Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté. Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.

### **Pour les critères 4 et 7-11**

Les *critères de jugement essentiels* sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.

# ANNEXE 5 : Liste de contrôle pour séries de cas



## JBI Critical Appraisal Checklist for Case Series

Reviewer \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Author \_\_\_\_\_ Year \_\_\_\_\_ Record Number \_\_\_\_\_

	Yes	No	Unclear	Not applicable
1. Were there clear criteria for inclusion in the case series?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Was the condition measured in a standard, reliable way for all participants included in the case series?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Were valid methods used for identification of the condition for all participants included in the case series?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Did the case series have consecutive inclusion of participants?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Did the case series have complete inclusion of participants?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Was there clear reporting of the demographics of the participants in the study?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Was there clear reporting of clinical information of the participants?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Were the outcomes or follow up results of cases clearly reported?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Was there clear reporting of the presenting site(s)/clinic(s) demographic information?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Was statistical analysis appropriate?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Overall appraisal:    Include     Exclude     Seek further info

Comments (Including reason for exclusion)

---



---



---

### **1. Y avait-il des critères clairs pour l'inclusion dans la série de cas ?**

Les auteurs doivent fournir des critères d'inclusion (et d'exclusion, le cas échéant) clairs pour les participants à l'étude. Les critères d'inclusion/exclusion doivent être spécifiés (par exemple, le risque, le stade de progression de la maladie) avec suffisamment de détails et toutes les informations nécessaires essentielles à l'étude.

### **2. L'affection a-t-elle été mesurée de manière standard et fiable pour tous les participants inclus dans la série de cas ?**

L'étude doit décrire clairement la méthode de mesure de l'affection. Cela doit être fait de manière standard (c'est-à-dire de la même manière pour tous les patients) et fiable (c'est-à-dire des résultats répétables et reproductibles).

### **3. Des méthodes valides ont-elles été utilisées pour l'identification de la maladie pour tous les participants inclus dans la série de cas ?**

De nombreux problèmes de santé ne sont pas faciles à diagnostiquer ou à définir et certaines mesures peuvent ne pas être capables d'inclure ou d'exclure les niveaux ou stades appropriés du problème de santé. Si les résultats étaient sur la base de définitions ou de critères de diagnostic existants, la réponse à cette question est probable d'être oui. Si les résultats ont été évalués à l'aide d'échelles rapportées par les observateurs, ou d'échelles autodéclarées, le risque de la sur- ou sous-déclaration est accrue, et l'objectivité est compromise. Il est important de déterminer si les outils de mesure utilisés étaient des instruments validés, car cela a un impact significatif sur les résultats la validité de l'évaluation.

### **4. La série de cas a-t-elle comporté des participants consécutifs ?**

Les études qui indiquent une inclusion consécutive sont plus fiables que celles qui n'en indiquent pas. Par exemple, une série de cas qui indique "nous avons inclus tous les patients (24) atteints d'ostéosarcome qui se sont présentés à notre clinique entre mars 2005 et juin 2006" est plus fiable qu'une étude qui indique simplement "nous signalons une série de cas de 24 personnes atteintes d'ostéosarcome".

### **5. Les séries de cas ont-elles inclus tous les participants ?**

L'exhaustivité d'une série de cas contribue à sa fiabilité. Les études qui indiquent une inclusion complète sont plus fiables que celles qui n'en indiquent pas. Comme indiqué ci-dessus, une série de cas qui indique "nous avons inclus tous les patients (24) atteints d'ostéosarcome qui se sont présentés à notre clinique entre mars 2005 et juin 2006" est plus fiable qu'une étude qui indique simplement "nous signalons une série de cas de 24 personnes atteintes d'ostéosarcome".

### **6. Les données démographiques des participants à l'étude ont-elles été clairement communiquées ?**

La série de cas doit décrire clairement les données démographiques pertinentes des participants, telles que les informations suivantes, le cas échéant : l'âge, le sexe, l'éducation, la région géographique, l'origine ethnique, la période de temps, l'éducation du participant.

### **7. Les informations cliniques des participants ont-elles été clairement communiquées ?**

Les informations cliniques des participants doivent être clairement indiquées, notamment les informations suivantes, le cas échéant : état de la maladie, comorbidités, stade de la maladie, interventions ou traitements antérieurs, résultats des tests de diagnostic, etc.

### **8. Les résultats ou les résultats du suivi des cas ont-ils été clairement communiqués ?**

Les résultats de toute intervention ou traitement doivent être clairement indiqués dans la série de cas. Une bonne étude de cas doit décrire clairement l'état clinique post-intervention en termes de présence ou d'absence de symptômes. Les résultats de la prise en charge/du traitement, lorsqu'ils sont présentés sous forme d'images ou de chiffres, peuvent aider à transmettre l'information au lecteur/clinicien. Il est important que les événements indésirables soient clairement documentés et décrits, en particulier lorsqu'une affection nouvelle ou unique est traitée ou lorsqu'un nouveau médicament ou traitement est utilisé. En outre, les événements imprévus, le cas échéant, qui peuvent donner lieu à des informations nouvelles ou utiles doivent être identifiés et clairement décrits.

### **9. Les informations démographiques du/des site(s)/clinique(s) présenté(s) ont-elles été clairement communiquées ?**

La prévalence de certaines maladies ou affections varie selon les régions géographiques et les populations (par exemple, les femmes par rapport aux hommes, les variables sociodémographiques entre les pays). L'échantillon de l'étude doit être décrit de manière suffisamment détaillée pour que les autres chercheurs puissent déterminer s'il est comparable à la population qui les intéresse.

### **10. L'analyse statistique était-elle appropriée ?**

Comme pour toute considération d'analyse statistique, il convient de se demander s'il existe une autre méthode statistique plus appropriée qui aurait pu être utilisée. La section des études consacrée aux méthodes devrait être suffisamment détaillée pour que les examinateurs puissent identifier les techniques d'analyse utilisées et si ceux-ci étaient appropriés.

## ANNEXE 6 : Grille R – AMSTAR



### R – AMSTAR\* – ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES REVUES SYSTEMATIQUES

\*AMSTAR révisé

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

---

#### Comment fonctionne la liste de contrôle R-AMSTAR?

La liste comporte, dans la colonne gauche, 11 questions sur la qualité de la revue. En fonction des critères présentés dans la colonne droite, attribuer à chaque question un score de 1 à 4. La somme des scores constitue le score de qualité global de la revue systématique.

---

### Éléments AMSTAR

---

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

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

##### Critères

- A. Publication et (ou) inscription du protocole d'étude à l'avance
- B. Description des critères d'inclusion
- C. Question de recherche bien ciblée (critères PICO)

##### Conditions d'attribution du score

3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1

##### Explication A. :

Il doit être dit explicitement que le protocole a été publié ou inscrit, par exemple dans PROSPERO, registre de revues systématiques prospectif et multinational accessible en ligne.  
C. La question renferme les critères PICO, soit **P**opulation, **I**ntervention (ou exposition), **C**omparateur (ou témoins) et **R**ésultats (**O**utcomes).

Score : **3**

Commentaire :

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

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

### Critères

- A. Données extraites par **au moins deux** personnes, de façon indépendante (déclaration explicite ou implicite)
- B. Énoncé sur **le processus de consensus** pour le règlement des différends
- C. Résolution des désaccords entre les personnes ayant extrait les données conformément à la méthode établie (déclaration explicite ou implicite)

*Conditions d'attribution du score*  
3 critères→4, 2→3, 1→2, 0→1

Score : 1

Commentaire :

## 3. La recherche documentaire était-elle exhaustive?

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

### Critères

- A. Au moins deux sources électroniques ont été utilisées.
- B. L'horizon temporel et les bases de données interrogées sont indiqués.
- C. Les mots clés et (ou) les termes MeSH sont indiqués et, si possible, la stratégie de recherche est exposée.
- D. Toutes les recherches sont complétées par la consultation des tables des matières de revues scientifiques récentes, de revues de la littérature, de manuels ainsi que de registres et par l'examen des références fournies dans les études répertoriées.
- E. Une recherche manuelle a été effectuée dans les revues.

*Conditions d'attribution du score*  
4 ou 5 critères→4, 3→3, 2→2, 1 ou 0→1

### Explication E. :

La recherche manuelle consiste à repérer les revues très pertinentes et à faire une recherche à la main, page par page, de leur contenu afin de relever d'éventuelles études admissibles.

Score : 4

Commentaire :

---

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

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

<p><i>Critères</i></p> <p>A. Les auteurs indiquent qu'ils ont recherché tous les rapports, quel que soit le type de publication.</p> <p>B. Les auteurs indiquent s'ils ont exclu des rapports sur la base du type de publication, de la langue, etc.</p> <p>C. « Les articles rédigés dans une langue autre que l'anglais ont été traduits » ou les lecteurs maîtrisaient assez bien la langue du rapport.</p> <p>D. Aucune restriction fondée sur la langue ou prise en compte des articles rédigés dans une langue autre que l'anglais</p> <p><i>Conditions d'attribution du score</i> 3 ou 4 critères→4, 2→3, 1→2, 0→1</p>	<p>Score : 2</p> <p>Commentaire :</p>
---	---------------------------------------

---

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

Une liste des études incluses et exclues doit être fournie.

<p><i>Critères</i></p> <p>A. Les études incluses doivent être réunies dans un tableau, une liste ou une figure; une simple liste de références ne suffit pas.</p> <p>B. Les études exclues doivent être réunies dans un tableau, une liste ou une figure qui sera intégré à l'article ou à un supplément.</p> <p>C. Les raisons de l'exclusion des études sérieusement prises en considération doivent être exposées de manière suffisamment claire.</p> <p>D. Le lecteur peut retracer aisément les études incluses et exclues dans la bibliographie, les références ou le supplément de l'article.</p> <p><i>Conditions d'attribution du score</i> 4 critères→4, 3→3, 2→2, 1→1</p> <p><i>Explication :</i> Les études exclues sont celles qui, après avoir été sérieusement prises en considération sur la foi du titre et (ou) du résumé, ont été rejetées après lecture du corps du texte.</p>	<p>Score : 4</p> <p>Commentaire :</p>
--	---------------------------------------

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

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

### Critères

- A. Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études originales, les interventions qu'ils ont reçues et les résultats sont regroupées, sous forme de tableau, par exemple.
- B. Les auteurs précisent l'étendue des données sur les caractéristiques pertinentes des sujets des études analysées.
- C. L'information fournie semble complète et exacte.

### Conditions d'attribution du score

3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1

Score : 4

Commentaire :

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

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

### Critères

- A. Les méthodes a priori sont indiquées.
- B. La qualité scientifique des études incluses semble valable.
- C. Le niveau de preuve est exposé, dûment reconnu ou pris en considération.
- D. La qualité des preuves est évaluée ou classée en fonction d'outils d'évaluation de la preuve.

### Conditions d'attribution du score

4 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1

### Explications D. :

Un outil d'évaluation de la preuve est un instrument qui sert à établir le niveau de preuve.

Ex. : l'outil GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*).

Score : 4

Commentaire :

---

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

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

### Critères

- A. Les auteurs ont tenu compte de la qualité scientifique dans l'analyse et les conclusions de la revue.
- B. La qualité scientifique est formulée explicitement dans les recommandations.
- C. Les conclusions sont orientées vers la production de guides de pratique.
- D. L'énoncé de consensus clinique laisse entrevoir la révision ou la confirmation des recommandations de pratique.

### Conditions d'attribution du score

4 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1

Score : 3

Commentaire :

---

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

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

### Critères

- A. Les auteurs exposent les critères à partir desquels ils ont déterminé que les études analysées étaient assez semblables pour être combinées.
- B. Dans le cas des résultats regroupés, les auteurs ont fait un test d'homogénéité pour s'assurer que les études étaient combinables.
- C. Les auteurs ont pris acte du caractère hétérogène (ou non) des études.
- D. S'il y a hétérogénéité, les auteurs ont utilisé un modèle d'effets aléatoires et (ou) vérifié si la nature des données justifiait la combinaison.
- E. S'il y a homogénéité, les auteurs exposent la justification ou le test statistique.

### Conditions d'attribution du score

4 ou 5 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1

Score : 1

Commentaire :

---

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

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

<p><i>Critères</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>A. Prise en compte du biais de publication ou de l'effet tiroir</li><li>B. Outils graphiques (diagramme de dispersion des études, par exemple)</li><li>C. Tests statistiques (test de régression d'Egger, par exemple)</li></ul> <p><i>Conditions d'attribution du score</i></p> <p>3 critères→4, 2→3, 1→2, 0→1</p>	<p>Score : 1</p> <p>Commentaire :</p>
--	---------------------------------------

---

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

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

<p><i>Critères</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>A. Présentation des sources de soutien</li><li>B. Absence de conflit d'intérêts – On est ici dans la subjectivité; peut-être faudra-t-il y aller par déduction ou fouiller quelque peu.</li><li>C. Prise en compte ou énoncé des sources de soutien ou des conflits d'intérêts dans les <b>principales</b> études incluses</li></ul> <p><i>Conditions d'attribution du score</i></p> <p>3 critères→4, 2→3, 1→2, 0→1</p>	<p>Score : 3</p> <p>Commentaire :</p>
--	---------------------------------------

---

Score de qualité maximal : 44

Score de qualité : 30

*PEROSH OSH Evidence Methods (Partnership for European Research in Occupational Safety and Health)*

©Kung *et al.* From Systematic Reviews to Clinical Recommendations for Evidence-Based Health Care: Validation of Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews (R-AMSTAR) for Grading of Clinical Relevance. The Open Dentistry Journal, 2010, 4: 84-91.

# RESUME

**Introduction :** Les personnes atteintes de lésion médullaire incomplète mentionnent couramment la récupération de la fonction de marche comme objectif ultime de la réadaptation. La réalité virtuelle est une nouvelle technologie qui s'est imposée comme un nouvel outil thérapeutique pour la rééducation des patients.

**Objectif :** Cette revue de littérature a pour but d'étudier l'intérêt de la réalité virtuelle dans la rééducation de la marche et de l'équilibre chez les blessés médullaires incomplets.

**Méthodologie de recherche :** 7 études ont été sélectionnées après de nombreuses recherches sur plusieurs bases de données électroniques. Les participants ont une lésion médullaire de grade ASIA C ou D. Des mesures des critères de jugement évaluant la marche et l'équilibre ont été réalisées avant et après l'intervention par réalité virtuelle.

**Résultat et analyse :** 6 études sur 7 ont trouvé une amélioration statistiquement significative après l'intervention par réalité virtuelle pour au moins un des critères de jugement étudiés.

**Discussion :** Les biais contenus dans les études ainsi que la faible qualité scientifique des preuves ne nous permettent pas de conclure sur les résultats observés. D'autres études avec un niveau de preuve supérieur sont nécessaires.

**Mots clés :** réalité virtuelle, lésion médullaire incomplète, rééducation, kinésithérapie, marche, équilibre.

# ABSTRACT

**Introduction :** People with incomplete spinal cord injury commonly mention recovery of walking function as the ultimate goal of rehabilitation. Virtual reality is a new technology that has emerged as a new therapeutic tool for patient rehabilitation.

**Objective :** The aim of this literature review is to study the interest of virtual reality in the rehabilitation of walking and balance in incomplete spinal cord injuries.

**Research methodology :** 7 studies were selected after numerous searches on several electronic databases. The participants have an ASIA C or D grade spinal cord injury. Measurements of gait and balance judgement criteria were performed before and after the virtual reality intervention.

**Outcome and Analysis :** 6 of 7 studies found a statistically significant improvement after the virtual reality intervention for at least one of the outcome measures studied.

**Discussion :** The biases contained in the studies and the low scientific quality of the evidence do not allow us to conclude on the results observed. Further studies with a higher level of evidence are needed.

**Key words :** virtual reality, incomplete spinal cord injury, rehabilitation, physiotherapy, walking, balance.