



**HAL**  
open science

# L'intérêt des exosquelettes dans la rééducation à la marche chez les patients blessés médullaires incomplets : une revue systématique de littérature

Sylvian Payan

► **To cite this version:**

Sylvian Payan. L'intérêt des exosquelettes dans la rééducation à la marche chez les patients blessés médullaires incomplets : une revue systématique de littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04265745

**HAL Id: dumas-04265745**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04265745>**

Submitted on 31 Oct 2023

**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'INTÉRÊT DES EXOSQUELÈTES DANS LA  
RÉÉDUCATION À LA MARCHE CHEZ LES  
PATIENTS BLESSÉS  
MÉDULLAIRES INCOMPLETS : UNE REVUE  
SYSTEMATIQUE DE LITTÉRATURE**

**PAYAN Sylvian**  
**Directeur de mémoire : Mme ROUVIERE Émilie**

**Formulaire : Autorisation à soutenir le mémoire de fin d'études**

Je soussigné, ROUVIERE Emilie

Directeur de mémoire de PAYAN Sylvian

Au regard du manuscrit qui m'a été présenté, j'autorise l'étudiant(e) ci-dessous à se présenter à l'épreuve de soutenance de mémoire de fin d'étude sous garantit que l'étudiant dépose tous les documents requis dans le délai imparti :

- Autorisation de diffusion sur la base de données DUMAS signée,
- 4eme de couverture sur l'ENT pour enregistrement sur la base de données DUMAS
- Version numérique du mémoire sur AMETICE,
- Versions imprimés auprès de l'appariteur

Déposer au secrétariat ce formulaire dûment rempli et signé.

Cette autorisation ne garantit nullement la réussite à l'épreuve du mémoire, l'issue de la soutenance pouvant être, selon la délibération du Jury :

- soit une réussite sans condition.
- soit un échec. L'étudiant devra alors modifier son manuscrit et le soutenir une nouvelle fois lors de la 2eme session devant un Jury.

Date 26/04/2023

Signature du directeur de mémoire

## Remerciements :

Je tiens en premier lieu à remercier ma maitre de mémoire Emilie Rouvière qui m'accompagné tous au long de cette année et qui a su répondre à mes interrogations. Son aide dans la rédaction et la correction de ce mémoire fut précieuse.

Je remercie également l'équipe pédagogique de l'IFMK de Marseille pour l'enseignement et l'accompagnement dont elle a fait preuve pendant ces 4 années de formation.

J'aimerais remercier toutes les structures de stage qui m'ont accueilli avec bienveillance et les kinésithérapeutes diplômés qui ont accepté de me former pendant ces stages. Je pense notamment au cabinet KNIR à Nîmes et à la clinique Saint Martin qui m'a par la suite accepté comme apprenti. Mon expérience professionnelle et sociale dans cette clinique est très enrichissante aux côtés des kinés et des autres apprentis de la structure.

Je remercie évidemment ma famille qui m'a soutenu et accompagné pendant mes études et pendant cette 4<sup>ème</sup> année. En particulier ma mère pour le soutien durant les phases de recherche, pour l'aide durant les phases d'écriture ainsi que pour avoir pris le temps de relire mon mémoire et de m'aider pour la correction. Je remercie aussi mon père pour son soutien pendant les phases de recherche et ses idées.

Je tiens à remercier également toutes les personnes avec qui j'ai passé de très bons moments, et que ces études m'ont permis de rencontrer : Samy, Amélie, Marie-Sarah, Céline, Bob's, Emma, Théo, Carla et Théa. Merci l'équipe pour ces soirées, ces plages, ces activités, qui resteront à jamais ancrées dans nos meilleures années.

Et enfin, je terminerais ces remerciements par ma petite patate Manon, qui a changé ma vie depuis bientôt 3 ans maintenant. Avec qui j'ai su trouver à la fois une confidente et une meilleure ami (et un chat : Ttekkobi <3)

## Table des matières

1.	Introduction.....	1
1.1	Lésion médullaire .....	1
1.1.1	Epidémiologie .....	1
1.1.2	Physiopathologie .....	1
1.1.3	Conséquences des lésions médullaires .....	5
1.1.4	Impact Médico-Socio-Economique de la lésion médullaire.....	7
1.1.5	Pronostic de reprise de la marche chez le sujet blessé médullaire.....	8
1.1.6	Pronostic de récupération des autres grandes fonctions .....	8
1.2	Les Exosquelettes .....	9
1.2.1	Généralités .....	9
1.2.2	Les limites des exosquelettes .....	10
1.2.3	Les exosquelettes en France .....	12
1.2.4	Protocole de rééducation.....	13
1.3	Intérêt scientifique de la revue .....	14
1.4	Hypothèses théoriques sur l'exosquelette.....	15
1.5	Objectif de la revue .....	15
2.	Méthode.....	17
2.1	Critères d'éligibilité des études retenues pour cette revue.....	17
2.1.1	Schéma d'étude.....	17
2.1.2	Population et Pathologie.....	19
2.1.3	Intervention.....	19
2.1.4	Compareteur .....	20
2.1.5	Critères de jugement.....	20
2.2	Méthodologie de recherche des études .....	20
2.2.1	Equation de recherche utilisée.....	20
2.3	Méthode de sélection des études .....	21
2.4	Méthode d'extraction et d'analyse des données.....	22
2.5	Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées.....	22
2.6	Méthode de synthèse des résultats .....	22
3.	Résultats .....	24
3.1	Description des études et du processus de recherche.....	24
3.1.1	Processus de selection des études .....	24
3.1.2	Diagramme de Flux.....	25
3.1.3	Etudes incluses .....	26
3.2	Risques de biais des études incluses .....	26

3.3	Effets de l'intervention sur les critères de jugement de cette revue.....	27
3.3.1	Critères de jugement et comment sont-ils évalués .....	27
3.4	Analyse des données .....	28
3.4.1	Tailles d'effet et significativité statistique.....	29
3.4.2	Méta-Analyse.....	32
4.	Discussion .....	35
4.1	Analyse des principaux résultats de la revue .....	35
4.1.1	LEMS .....	35
4.1.2	6MWT .....	36
4.1.3	TUG .....	37
4.1.4	WISCI-II .....	39
4.1.5	Limites des études incluses .....	39
4.1.6	Différents effets impactant l'amélioration du patient .....	43
4.1.7	Conclusion des résultats par rapport aux limites .....	45
4.2	Qualité des preuves de la revue .....	45
4.3	Applicabilité des résultats en pratique clinique .....	47
4.4	Biais potentiels de la revue .....	48
4.5	Conflits d'intérêt.....	49
5.	Conclusion .....	50
6.	Figures et Tableaux.....	52
7.	Références Bibliographiques.....	54
8.	Annexes .....	60



# 1. Introduction

## 1.1 Lésion médullaire

La lésion médullaire est une lésion ou dégénérescence de la moelle épinière pouvant entraîner des déficits sensitifs, moteurs et/ou végétatifs, plus ou moins importants selon la hauteur de la lésion, les structures touchées, ainsi que la gravité de celle-ci. [1]

### 1.1.1 Epidémiologie

Selon l'Académie Nationale de Médecine Française<sup>1</sup>, on compterait 2000 nouveaux cas de traumatismes médullaires par an en France. Dans 90% des cas, la lésion est d'origine traumatique (accident de la voie publique, plaie par arme blanche, plaie par balle) et seulement 10% sont non traumatiques (dégénératif, canal lombaire étroit, spina bifida...). Les hommes seraient plus touchés que les femmes, avec un sex ratio de 4, et la tranche d'âge la plus concernée est celle des 20 à 30 ans. Cela semble en adéquation avec les principaux facteurs de survenue de ces lésions.

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)<sup>2</sup>, on estime l'incidence des lésions médullaires entre 40 et 80 nouveaux cas par an et par million d'habitants dans le monde et leur prévalence oscille entre 250 000 et 500 000 cas par an dans le monde. De plus, le risque de mortalité prématurée est 2 à 5 fois plus important que pour le reste de la population et est à son paroxysme pendant la première année après la survenue de la lésion. Il dépend de facteurs intrinsèques : hauteur de la lésion, gravité de celle-ci, état général du patient, mais aussi de facteurs extrinsèques comme la région ou le pays de vie du patient et la disponibilité de soins médicaux, ou les temps de prise en charge entre l'accident et l'hôpital le plus proche. Les lésions médullaires entraînent des coûts importants au niveau individuel et pour la société, et s'associent à des taux de participation à l'économie plus faible ainsi qu'un taux de scolarisation plus faible.

### 1.1.2 Physiopathologie

#### 1.1.2.1 *Anatomie de la moelle épinière*

Le système nerveux se divise anatomiquement en 2 parties, le système nerveux central (SNC), constitué du cerveau et de la moelle épinière (ME), et le système nerveux périphérique (SNP), comprenant tout le reste du système nerveux avec par exemple les nerfs périphériques et les plexus. La moelle épinière est donc dans la continuité du diencéphale et du tronc cérébral. Elle prolonge la moelle allongée, à hauteur du foramen magnum et descend jusqu'au cône terminal de la moelle, entre la première (L1) et la deuxième vertèbre lombaire (L2) pour se finir par le filum terminal. Celui-ci est accolé au coccyx et sert de support aux nerfs de la queue de cheval.

---

<sup>1</sup> <https://www.academie-medecine.fr/les-lesions-traumatiques-de-la-moelle-epiniere-epidemiologie-et-prise-en-charge-pre-hospitaliere/>

<sup>2</sup> <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>

Tout au long de la moelle épinière émergent les nerfs spinaux (ou nerfs rachidiens) qui sont la réunion des racines nerveuses sensibles (corne dorsale) et motrices (corne ventrale) qui forment le début du SNP. La ME s'arrêtant entre L1 et L2, sa taille est différente de la taille de la colonne vertébrale, et les étages nerveux d'émergence de ses racines sont différents des étages vertébraux. On décrit 31 paires de nerfs spinaux subdivisées en 8 nerfs cervicaux, 12 nerfs thoraciques, 5 nerfs lombaires, 5 nerfs sacrés et 1 nerf coccygien vestigial. [2]

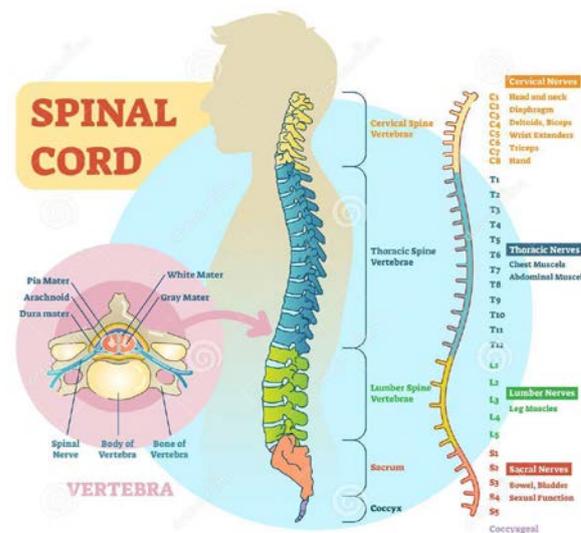


Figure 1 : Schéma de l'Anatomie Générale de la Moelle Epinière

La moelle épinière est composée de matière blanche, constituée des axones des neurones et formant les voies d'échanges nerveux entre le cerveau et le SNP, et de matière grise abritant les corps cellulaires des neurones. Elle est entourée et protégée sur tout son trajet par les méninges que sont de l'extérieur vers l'intérieur : la dure-mère, l'arachnoïde et la pie-mère. Son rôle est donc de faire remonter les informations sensibles depuis le SNP vers le cerveau via les voies afférentes ou ascendantes, et de transmettre les informations motrices via les voies descendantes ou efférentes depuis le cerveau vers la périphérie. Elle permet aussi l'échange d'informations entre le centre et la périphérie du corps dans un but de coordination. [3] ; [4]

### 1.1.2.2 Description des lésions médullaires

Les lésions médullaires traumatiques sont souvent le résultat d'un choc à haute cinétique directement sur la moelle ou bien d'une compression de celle-ci, à la suite d'une fracture vertébrale ou d'un hématome épidural. A la suite d'une lésion médullaire, les patients vont avoir une interruption de la continuité de circulation des informations entre le cerveau et la périphérie, entraînant des troubles moteurs, sensitifs et végétatifs. Ces troubles peuvent être définitifs dans le cadre d'une lésion complète ou bien avoir un pronostic de récupération quand la lésion est incomplète. [5] [6]

Pour estimer ce paramètre et permettre la classification des différents niveaux de lésion dans le but de les traiter, l'association américaine des lésions de la moelle épinière (American Spinal cord Injury Association, ASIA) a mis un point une échelle d'évaluation fiable, validée et complète nommée ASIA Impairment Scale ou score ASIA en français (*voir annexe 1*) se basant sur l'évaluation des critères donnés par l'International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI).

[7] [8]

Ce score se base donc sur l'évaluation de la sensibilité en premier lieu, puis de la force motrice, et enfin sur un examen de la sphère ano-rectale.

La première partie est la réalisation d'un test de sensibilité, utilisant les tests de pique/touche (avec une épingle à nourrice et un coton) et touche/touche pas (coton) sur des points précis, afin de mettre une note entre 0 et 2 à chaque dermatome<sup>3</sup>, avec :

- 0 étant « aucune fonction sensitive »,
- 1 étant « altération de la fonction sensitive » soit par hypoesthésie (diminution des sensations) soit par paresthésie (sensations de picotements, fourmillement, engourdissement),
- 2 étant « sensation normale », prenant comme critère de comparaison une zone saine du corps du patient, souvent le visage ou le bras si l'atteinte est lombaire.

Cela nous permet de tester et de coter chaque dermatome de C1 à S2 afin d'évaluer le niveau sensitif droit et le niveau sensitif gauche du patient.

On passe ensuite à l'évaluation de la force motrice. Celle-ci se base sur l'échelle Medical Research Council (MRC), avec des cotations de 0 à 5 : [7] [9]

- 0 = Paralysie totale, absence de contraction,
- 1 = Contraction visible ou palpable,
- 2 = Mouvement actif, dans toute l'amplitude mais sans la gravité,
- 3 = Mouvement actif, dans toute l'amplitude contre la gravité,
- 4 = Mouvement actif, dans toute l'amplitude contre la gravité et contre une résistance modérée dans une position musculaire spécifique,
- 5 = Mouvement actif, dans toute l'amplitude contre la gravité et contre une résistance très importante dans une position musculaire fonctionnelle attendue d'un individu sans déficit.

Les racines nerveuses innervant plusieurs groupes de muscles appelés myotome, l'ISNCSCI a choisi pour chaque racine un muscle clé permettant d'affirmer ou d'infirmer la lésion de la racine en question. Pour les membres supérieurs, on va donc coter les racines de C5 à T1 :

- C5 = Fléchisseur du coude
- C6 = Extenseur du poignet
- C7 = Extenseur du coude
- C8 = Fléchisseur des doigts
- T1 = Abducteur des doigts (précisément du 5<sup>ème</sup> doigt)

Et pour les membres inférieurs, les racines de L2 à S1 :

- L2 = Fléchisseur de hanche
- L3 = Extenseur de genou
- L4 = Fléchisseur dorsaux de cheville
- L5 = Extenseur de l'hallux

---

<sup>3</sup> Territoire sensitif innervé par la même racine rachidienne

- S1 = Fléchisseur plantaires de la cheville.

Entre ces deux groupes musculaires, étant donné que l'on ne peut pas différencier le muscle clé d'une racine (par exemple, on ne pourra pas différencier une atteinte du myotome T7 d'une atteinte du myotome T6 avec un testing musculaire), la cotation musculaire est donc en accord avec la cotation sensitive. Ainsi on détermine les niveaux moteurs droit et gauche du patient, et avec les niveaux sensitifs, on peut déterminer le niveau neurologique, qui est le niveau le plus caudal présentant des fonctions sensitives saines et une force normale (3 si le niveau sus-jacent est à 5). [7] [8] [9]

Enfin, la dernière partie de l' AIS Impairment Scale est un examen de la sphère ano-rectale, souvent réalisé par les médecins, comprenant des tests de sensibilité du sphincter externe et de la zone périanale, ainsi que la recherche d'une contraction volontaire lors du toucher rectal.

Ainsi, grâce aux différents niveaux et à l'examen ano-rectal, nous pouvons établir la classe de lésion du patient en lui donnant son score ASI A, B, C, D ou E : [10] [6] :

- **A = Complète** : aucune fonction sensitive ou motrice préservée dans les segments sacrés S4/S5
- **B = Sensitive Incomplète** : fonction sensitive préservée sous le niveau neurologique mais pas de fonction motrice et aucune fonction motrice préservée sur plus de trois niveaux sous le niveau moteur de chaque côté.
- **C = Motrice Incomplète** : fonction motrice conservée dans les segments sacrés les plus caudaux pour la contraction anale volontaire ou patient répondant aux critères du statut de lésion sensitive incomplète et possédant une préservation de la fonction motrice sur plus de trois niveaux sous le niveau moteur ipsilatéral de chaque côté du corps.
- **D = Motrice Incomplète** : La fonction motrice est préservée sous le niveau neurologique et au moins la moitié des muscles clés sous le niveau neurologique ont une cotation 3.
- **E = Normale** : La fonction sensitive et motrice, testée à partir de l'ISNCSCI est notée comme normale pour tous les segments alors que le patient avait des déficits antérieurs.

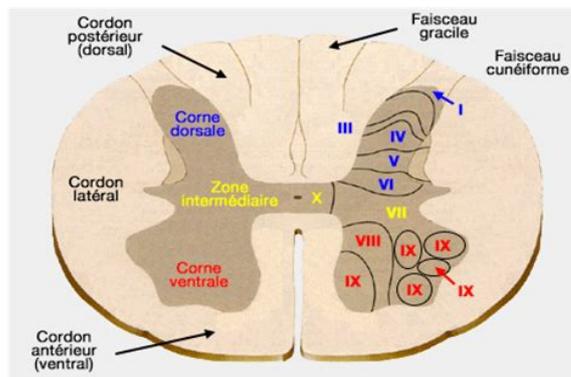


Figure 2 : Schéma d'une coupe de la moelle épinière

Si la lésion de la moelle n'est pas complète, donc dans le cas d'un ASI B, C ou D, il existe différents tableaux cliniques en fonction de quelles zones de la moelle ont été lésées ou comprimées. En effet, les voies ascendantes et descendantes ne passent pas par les mêmes zones de la moelle épinière. Les voies ascendantes passent dans la corne dorsale de la moelle épinière alors que les voies descendantes passent dans la corne ventrale. Par exemple, une lésion de celle-ci va entraîner des déficits majoritairement moteurs. [11]

Parmi ces lésions, on va retrouver 5 grands syndromes [7] [2]:

- Le **syndrome de la moelle antérieure** : Il est plutôt rare, causé dans la majorité des cas par une ischémie avec de manière générale une occlusion de l'artère spinale antérieure qui irrigue les 2/3 antérieurs de la moelle. La conséquence est une paralysie motrice en dessous du niveau lésionnel ainsi que la perte de la sensibilité thermo-algique (du fait de l'atteinte des voies spinothalamiques). La colonne postérieure est préservée, donc le tact fin, la proprioception et la sensibilité profonde ne sont pas altérés. [12]
- Le **syndrome de la moelle postérieure** : C'est le syndrome le plus rare des lésions incomplètes de la moelle, rarement causé par un traumatisme, plus souvent par une cause infectieuse ou métabolique. Il entraîne une perte de la sensibilité tactile, proprioceptive et profonde mais les fonctions motrices sont préservées. Les patients ont donc un pronostic assez mauvais car malgré leur bonne motricité, le déficit sensitif va compliquer la récupération des capacités et activités. [13] [14]
- Le **syndrome centro-médullaire** : C'est le plus fréquent des syndromes de cette liste, les circonstances d'apparition de celui-ci sont des traumatismes en hyper-extension cervicale et des spondylolisthésis. Le patient va présenter une faiblesse motrice en dessous de la lésion, et peut présenter des déficits sensitifs des voies thermo-algiques. En raison d'une plus grande proximité des voies des membres supérieurs avec la moelle épinière, cette atteinte touche moins fréquemment les membres inférieurs pour lesquels le pronostic de récupération est également meilleur. [15] [16]
- Le **syndrome de Brown-Séquard** : C'est un syndrome particulier car le mécanisme lésionnel est souvent violent (blessure par balle, blessure par arme blanche, AVP ou chute violente) avec une atteinte d'une héli-moelle entraînant une faiblesse motrice, ainsi qu'une perte de la sensibilité tactile, de la proprioception et de la sensibilité profonde du côté de la lésion (ipsilatéral). On notera aussi une perte de la sensibilité thermo-algique du côté controlatéral à la lésion. [17] [18]
- Le **syndrome de la queue de cheval** : C'est une lésion du groupe de nerfs et racines terminaux de la moelle épinière qui innervent les membres inférieurs ainsi que les éléments périnéaux. Les signes cliniques seront des douleurs lombaires irradiant dans les jambes, une perte de motricité et de la sensibilité dans les jambes. On retrouve aussi des troubles urinaires, sexuels, intestinaux et une hypoesthésie ou anesthésie de la zone périnéale. On peut aussi parler du **syndrome du cône médullaire** qui est un syndrome qui se rapproche cliniquement du syndrome de la queue de cheval avec une atteinte qui est plus haute dans la moelle épinière donc avec une altération plus importante au niveau des membres inférieurs. [19] [20].

### 1.1.3 Conséquences des lésions médullaires

Les lésions médullaires vont donc avoir des conséquences directes sur les fonctions et les activités du patient, mais aussi sur son entourage et sur la société. Au niveau des altérations de fonctions du patient, les lésions médullaires vont avoir un impact important sur les capacités motrices et sensorielles, mais aussi sur les fonctions respiratoires, digestives, vésicales, cardiovasculaires et sexuelles qui sont des facteurs importants de morbidité chez les blessés médullaires. [21] [22] [23] [24]

Selon l'intensité et la localisation de la lésion médullaire les conséquences sur la vie du patient seront différentes. On peut donc classer les lésions selon 2 critères que sont la gravité des paralysies et les segments du corps concernés.

On décrit la gravité par :

- La plégie qui est la paralysie totale des fonctions du membre ou segment concerné.
- La parésie qui est une paralysie partielle ou légère, pouvant signifier une atteinte moins importante ou bien un stade de récupération après une plégie.

Et les segments concernés par les termes de :

- Para (plégie/parésie) qui signifie que la lésion est en dessous des membres supérieurs. On distingue la paraplégie haute, avec une atteinte du tronc, de la paraplégie basse où seulement les membres inférieurs sont atteints.
- Tétra (plégie/parésie) qui signifie que les signes cliniques touchent les 4 membres du sujet et que la lésion est au-dessus de la vertèbre T1. A noter qu'une tétraplégie au-dessus de C4 est un facteur de risque de mortalité important du fait de l'insuffisance respiratoire engendrée par la perte d'innervation du diaphragme.
- Hémi (plégie/parésie) qui signifie que l'atteinte est sur une moitié de corps. Ce tableau clinique apparaît majoritairement après un AVC.

On notera qu'il est possible de trouver une zone avec un peu de motricité et/ou de sensibilité en dessous du niveau neurologique dans certains cas. On les nomme zones de préservation partielle (ZPP) et elles doivent être recherchées chez un patient en phase aigüe. [25]

Ces patients peuvent aussi souffrir de spasticité<sup>4</sup> ou de spasmes<sup>5</sup> qui peuvent être handicapant dans leur vie de tous les jours, impactant leur qualité de vie et compliquant la rééducation. On pourra décrire la spasticité grâce à l'échelle de Tardieu (ou l'échelle d'Aschworth) et les spasmes grâce à l'échelle de Penn (voir annexe 2 et 3) [26]

En plus des signes cliniques principaux décrits au-dessus, d'autres altérations de fonction sont relativement courantes et présentes chez un grand nombre de blessés médullaires et nécessitent une prise en charge en parallèle des troubles moteurs et sensitifs.

La première complication et la principale cause de morbidité et de mortalité après une lésion traumatique de la moelle est une atteinte respiratoire importante. Celle-ci peut être due à des déficits engendrés par la réanimation juste après le traumatisme, à une atteinte des abdominaux (du fait de leur rôle d'antagoniste synergique du diaphragme et expirateurs principaux) mais aussi aux insuffisances diaphragmatiques liés aux paraplégies hautes et aux tétraplégies. De ce fait, de nombreuses pathologies pulmonaires peuvent faire leur apparition compliquant la prise en charge du patient blessé médullaire. [27] [24]

Une autre des complications très courantes est la survenue de problèmes cardiovasculaires, causés par le fait que la circulation des informations du système nerveux végétatif<sup>6</sup> (SNV ou autonome) qui ont un rôle très important sur la sphère cardiaque est interrompue par la lésion. Les patients présentent souvent des signes de bradycardie, d'hypotension orthostatique, de dysrétflexie

---

<sup>4</sup> Hypertonie musculaire et hyperflexie myotatique suite à un étirement dans le cadre d'une lésion de la voie pyramidale.

<sup>5</sup> Contraction pathologique de courte durée et haute vélocité des muscles.

<sup>6</sup> Constitué de deux systèmes opposés que sont le parasympathique et l'orthosympathique, il joue un rôle dans l'innervation du cœur, des viscères et de certains éléments de la peau.

autonome<sup>7</sup>, de troubles du rythme ventriculaire ... De plus, du fait de l'alitement prolongé, suivi de la position assise au fauteuil, ces patients souffrent aussi de problèmes veineux avec des risques de phlébite (et d'embolie pulmonaire) assez élevés souvent traités par anticoagulants et/ou bas de contention. [28] [29] [30]

Enfin, les troubles urinaires, digestifs et sexuels sont retrouvés chez pratiquement tous les patients victimes de lésion médullaire, au moins au début de la prise en charge. Ces troubles ont d'autant plus un impact psychologique et social très important qu'ils affectent une sphère très privée et relativement pudique des patients. Leur prise en charge est très importante dans le processus d'autonomisation du patient et la préparation à la réinsertion sociale. [31] [32] [33]

#### 1.1.4 Impact Médico-Socio-Economique de la lésion médullaire

En plus des altérations de fonctions, ces lésions vont provoquer une implosion de la vie professionnelle, sociale et économique de ces patients. La fréquence importante de ces lésions dans le monde et notamment dans les pays développés va avoir un impact sur les sociétés et sur les politiques de santé publique de celles-ci. [1] ; [34] [23]

Le retentissement de ces lésions sur le patient n'est pas seulement physique, il est aussi mental, et influence son entourage, de plus il impacte économiquement les familles et la société. C'est une lésion avec un fort impact sur la qualité de vie et sur les capacités d'une personne. Il sera important d'évaluer régulièrement la qualité de vie du patient, notamment grâce à des échelles spécifiques validées telles que : [35] [36] [37] [38] (*voir annexes 8.4*)

- Satisfaction With Life Scale (SWLS)
- Quality of Life Index - spinal cord injury version (QLI-SCI)
- Life Satisfaction Questionnaire (LISAT 9)
- World Health Organization Quality of Life – BREF scale (WHOQOL-BREF)
- Perceived Quality Of Life (PQOL)

On peut par ailleurs souligner qu'en France, grâce à la sécurité sociale et aux mutuelles de santé, de nombreux soins sont pris en charge, même si l'aménagement du domicile ou des voitures entre autres reste à la charge des patients et de leurs familles (à noter que d'autres aides existent pour financer certains aménagements, comme la prestation de compensation handicap PCH<sup>8</sup> ou des aides individuelles des mutuelles). Mais dans certains pays comme les Etats-Unis, le coût financier direct de ces lésions est extrêmement important. [25]

Enfin, même si elle est parfois demandée dans les échelles de qualités de vie, la notion de douleur est importante à aborder pour ces sujets, afin de déterminer s'ils ressentent des douleurs et de quel type (nociceptif, neuropathique), à quelle intensité et à quel moment. Pour ceci, les échelles couramment utilisées sont : [26]

- Echelle Numérique (EN) (parfois remplacée par l'Echelle Visuelle Analogique, EVA) pour quantifier la douleur par un score sur 10. Elle est facilement reproductible et permet donc de

---

<sup>7</sup> Aussi appelé hyper-réflexie autonome, c'est une réponse anormale du SNV entraînant une augmentation brutale de la tension artérielle et une bradycardie, pouvant entraîner convulsions, AVC ou arrêt cardiaque.

<sup>8</sup> D'après la Fédération des Malades et Handicapés (FMH) : <https://fmh-association.org/financer-lamenagement-de-son-vehicule/>

suivre l'évolution des douleurs d'un patient dans le temps, mais très subjectif et donc impossible à comparer entre les patients. [39]

- Douleur Neuropathique 4 (DN4) pour évaluer la présence et le type de douleur neuropathique. [40] [41] (voir annexe 8.5.1)
- LANSS pour distinguer les douleurs neuropathiques des douleurs nociceptives et les quantifier. [42] (voir annexe 8.5.2)

#### 1.1.5 Pronostic de reprise de la marche chez le sujet blessé médullaire

Le pronostic de reprise de la marche chez ces sujets est directement dépendant du pronostic de récupération motrice après la lésion. D'ailleurs, des études montrent que les patients placent la récupération des fonctions motrices et surtout la marche en objectif principal, au-dessus de l'amélioration des fonctions digestives, urinaires ou sexuelles. Les recherches actuelles sur le sujet travaillent sur la possibilité de traitement pharmacologique et neurologique afin d'initier plus facilement une récupération et potentiellement une régénération des tissus atteints, mais nous n'y avons pas accès de nos jours. [43] De ce fait, notre pronostic va se baser majoritairement sur le niveau lésionnel et sur le degré de lésion (complète ou non). En effet, la probabilité de récupération sera plus importante pour une lésion de type D que pour une type C, et ainsi de suite de manière décroissante. On peut estimer qu'un an après la lésion, la probabilité de remarcher est de : [44]

- 97,3 % pour les lésions classées D
- 61,8 % pour les lésions classées C
- 39,4 % pour les lésions classées B
- Seulement 8,3 % pour les lésions complètes ou classées A

Un autre indicateur pronostique serait la présence d'une sensation et donc d'un score différent de 0 au test de pic/touche pour un dermatome dont le myotome correspondant aurait été coté à 0. En effet, dans le cas d'un myotome coté à 0 mais avec une sensibilité au pic/touche, les chances de récupération motrice sont de 85%. [45]

De plus, une étude publiée en 2011 dans The Lancet a mis au point une règle prédictive se basant sur 5 critères et permettant d'estimer le potentiel de récupération de la déambulation autonome des patients après une lésion médullaire traumatique. Ces 5 critères sont : [44] [46]

- Age  $\geq$  65 ans
- Score moteur du myotome L3
- Score moteur du myotome S1
- Score sensitif au toucher léger du dermatome L3
- Score sensitif au toucher léger du dermatome S1

#### 1.1.6 Pronostic de récupération des autres grandes fonctions

De la même manière que pour les fonctions motrices et la marche, le pronostic de récupération des fonctions sensitives ou des fonctions digestives, vésicales et sexuelles dépend majoritairement de la sévérité de la lésion et de la hauteur. Néanmoins, ce pronostic est aussi influencé par d'autres facteurs, par exemple, la probabilité de récupération des fonctions vésicales est augmentée pour les femmes, âgées de plus de 60 ans, et dont la rééducation a commencé rapidement après la lésion. [47]

## 1.2 Les Exosquelettes

### 1.2.1 Généralités

#### 1.2.1.1 Définition et Etymologie

Le terme d'exosquelette<sup>9</sup>, composé de « exo » signifiant externe et squelette a d'abord été utilisé pour décrire une structure externe chez certains animaux comme les invertébrés (mollusques, gastéropodes avec notamment la coquille des escargots) ou les insectes (cuticule).

Le premier exosquelette abouti et utilisable pour l'homme date de 1965, où un ingénieur américain (Ralph Moshier) développe Hardi-Man. Celui-ci travaillait pour la General Electric dans les années 1950 et il est le premier à proposer ce prototype d'assistance mécanique. Hardi-man, qui signifiait « Human Augmentation Research and Development Investigation » et « man » pour « manipulator ». Il devait être capable de porter des charges avoisinant les 700 kg, d'aider au chargement de bombes, à la construction des porte-avions, sous-marins et dans l'ingénierie nucléaire. Mais, toutes les tentatives pour faire bouger les jambes de l'engin furent un échec. Un seul des bras fut utilisé en 1970 avant que le projet ne soit arrêté en 1971.

Au début des années 2000, avec les progrès dans l'industrie de la robotique, les exosquelettes ont suscité un nouvel engouement, amenant l'Homme à conceptualiser de nombreuses utilisations pour cette aide robotisée. L'humain va alors utiliser les exosquelettes comme un produit d'ingénierie mécanique qui va permettre d'aider ou de suppléer une tâche que celui-ci ne peut pas faire. Les premières utilisations sont tournées vers le monde industriel, notamment pour la manutention ou bien comme moyen de protéger et d'améliorer les capacités d'un sujet dans le cadre notamment de la recherche militaire avec des exosquelettes de combat.

A la fin des années 2000, les avancées sur les exosquelettes dans le domaine industriel ont permis à d'autres entreprises d'adapter ces dispositifs vers le milieu médical. Ainsi les premières études sur les exosquelettes médicaux, leurs possibles utilisations et comment les contrôler voient le jour entre 2007 et 2010. Les possibilités de rééducation envers les pathologies comme les AVC ou les lésions médullaires offrent aux exosquelettes de rééducation un attrait important pour la recherche scientifique et médicale.

Il faut noter que l'exosquelette est considéré comme une orthèse fonctionnelle, parfois appelée aussi cyberthèse dans certains projets de recherche médicale.

Enfin, nous convenons que dans cette revue, toutes les mentions d'exosquelettes mêmes non précisées se réfèrent aux exosquelettes médicaux, d'aide à la marche des lésions médullaires entre autres.

#### 1.2.1.2 Les différents exosquelettes de marche et leurs caractéristiques

Actuellement, on peut citer de nombreux modèles d'exosquelettes de marche disponibles sur le marché, qui sont utilisés dans la rééducation et dans les études, en voici 10 exemples : [48]

- Ekso NR®, de Ekso Bionics
- Phoenix®, de SuitX

---

<sup>9</sup> [https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9\\_0167](https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9_0167)

- ReWalk®, de ReWalk Robotics
- Indego®, de Parker Hannifin
- Lokomat®, de Hocoma
- REX®, de REX Bionics
- HAL 3®, de Cyberdyne
- HANK®, de Gogo Mobility Robots
- Axosuit®, de Axosuits SRL
- MINDWALKER®, développé par un consortium d'universités et d'entreprises et chapeautées par l'Union Européenne

Parmi ces modèles, on va retrouver les exosquelettes « portatifs » ou mobiles, les plus classiques et nombreux avec une assistance motorisée au niveau de la hanche, du genou et parfois à la cheville et un appui dans le dos ou un sac à dos qui contient les programmes et les consoles d'accès à l'exosquelette tel que Ekso NR®, Phoenix®, ReWalk®, Indego®, Rex® HAL®, HANK®, Axosuit®, Mindwalker®. Ces modèles sont à utiliser en association avec une aide technique qui peut être une paire de cannes anglaises ou bien un déambulateur.

Certains de ces exosquelettes ont des particularités, tel que Mindwalker® ou HAL® qui proposent un système de contrôle par la pensée avec une récupération des influx nerveux afin d'actionner l'exosquelette [49].

On a ensuite un exosquelette fonctionnant avec une charpente supérieure, un tapis de marche et un système de suspension : le Lokomat®, uniquement dédié à la rééducation en centre.

Ces exosquelettes permettent une suppléance de la marche, mais aussi une station érigée pour l'amélioration des fonctions digestives et vésicales, ainsi qu'une amélioration de la qualité osseuse et des fonctions cardiovasculaires. On note aussi une augmentation importante du moral des patients et de leur ressentie sur leur qualité de vie, car ceux-ci se sentent progresser plus facilement. [50] [51]

### 1.2.2 Les limites des exosquelettes

Il y a bien entendu des limites à l'utilisation de ces technologies, notamment l'accessibilité et le prix, car il faut compter entre 40 000 et 200 000 euros pour avoir un de ces exosquelettes. Ils sont donc majoritairement utilisés dans des grandes cliniques et pour les études.

Ceux-ci ont aussi des limitations technologiques qui leur sont propres et qui sont imposées par le fabricant. On peut donc retrouver comme contre-indication l'incapacité d'utilisation des cannes anglaises ou d'un déambulateur pour la marche ou bien la gravité et le niveau de lésion. Certaines marques ont aussi des limites propres à leur modèle, qui peuvent être la taille globale du sujet (Phoenix), la taille des segments de membres du sujet (Rex), ou bien encore son poids (WPAL). [48]

Tableau I : Caractéristiques<sup>10</sup> propres des exosquelettes, réalisé par l'auteur :

	Dimensions	Poids	Vitesse de marche possible	Système d'allègement du poids du corps	Autonomie* en continue	Prix
<b>Ekso NR®</b>	1,5 x 0,81 x 1,27 m	23 à 27 kg	Jusqu'à 3,2 km/h	Système mobile	4h	100 000 €
<b>Phoenix®</b>	1,5 x 0,8 x 1,6 m	12 à 20 kg	Jusqu'à 1,8 km/h	Système mobile	4h	Jusqu'à 30 000 €
<b>ReWalk®</b>	1,4 x 0,8 x 1,3 m	23 à 27 kg	Jusqu'à 1,5 km/h	Système mobile	4h	70 000 à 100 000 €
<b>Indego®</b>	1,4 x 0,8 x 1,3 m	11 à 13,1 kg	Jusqu'à 4,3 km/h	Système mobile	4h	70 000 à 100 000 €
<b>Lokomat®</b>	280 cm x 153 cm x 239 cm	1000 kg	1 à 3,2 km/h	Système Levi à ajustement mécanique	2h	300 000 à 500 000 €
<b>Rex®</b>	1,5 x 0,8 x 1,2 m	25 à 38 kg	Jusqu'à 1,2 km/h	Système mobile	3h	70 000 à 100 000 €
<b>HAL®</b>	1,4 x 0,8 x 1,2 m	8 à 15 kg	Jusqu'à 1,8 km/h	Système mobile	2h	219 000 €
<b>HANK®</b>	**	**	Jusqu'à 2,5 km/h	Système mobile	4h	**
<b>Axosuit®</b>	1,5 x 0,5 x 1,2 m	2,5 à 3,5 kg	-	Système mobile	8h	25 000 à 45 000 €
<b>MINDWALKER®</b>	**	**	**	Système mobile	4h	**

\*L'autonomie des exosquelettes va varier selon le patient qui l'utilise (poids, vitesse de marche) et le terrain d'utilisation.

\*\*Prototype d'exosquelette encore en développement, donc les dimensions ne sont pas fixées.

Tableau II : Caractéristiques nécessaires du patient pour utiliser les exosquelettes, réalisé par l'auteur :

	Taille Limite	Poids maximum	Pathologie
<b>Ekso NR®</b>	Entre 150 et 190 cm	100 kg	Blessés médullaires, Accident Vasculaire Cérébral (AVC) <sup>11</sup> , Guillain Barré <sup>12</sup> , Infirmité Motrice Cérébrale <sup>13</sup> (IMC), Sclérose en Plaques <sup>14</sup> (SEP)...
<b>Phoenix®</b>	Entre 152 et 185 cm	100 kg	Blessés médullaires, AVC

<sup>10</sup> Informations trouvés sur les sites propres des différents constructeur d'exosquelettes. Les dimensions des modèles autoportés varient en fonction des adaptations aux porteurs et leurs poids en fonctions des options de chaque modèle.

<sup>11</sup> Accident provoqué par la rupture ou l'obstruction complète d'une ou plusieurs artères du cerveau entraînant des lésions dans celui-ci avec des conséquences motrices et sensitives sur une partie ou un segment du corps du patient.

<sup>12</sup> Syndrome dans lequel le système immunitaire attaque les nerfs périphériques du corps.

<sup>13</sup> Aussi appelé Paralyse Cérébrale, c'est une atteinte dû à une lésion pendant la période périnatale pouvant entraîner des troubles cognitifs, spastiques, de sensibilité...

<sup>14</sup> Maladie auto-immune dégénérative évoluant par poussée où la myéline des axones est attaquée par le système immunitaire entraînant des déficits musculaires et sensitifs importants ainsi que des troubles associés selon la localisation des plaques.

<b>ReWalk®</b>	Entre 160 et 190 cm	100 kg	Blessés médullaires
<b>Indego®</b>	Entre 157 et 193 cm	113 kg	Blessés médullaires, AVC
<b>Lokomat®</b>	Entre 120 et 200 cm	135 kg	Blessés médullaires, AVC, TC, IMC, SEP, Parkinson...
<b>Rex®</b>	Entre 150 et 190 cm	100 kg	Blessés médullaires
<b>HAL®</b>	Entre 150 et 185 cm	100 kg	Blessés médullaires
<b>HANK®</b>	Entre 150 et 195 cm	100 kg	Blessés médullaires, AVC
<b>Axosuit®</b>	Entre 150 et 210 cm	125 kg	Blessés médullaires, AVC
<b>MINDWALKER®</b>	**	100 kg	Blessés médullaires, AVC

*\*\*Prototype d'exosquelette encore en développement, donc les dimensions ne sont pas fixées.*

De plus, la marche permise par ces exosquelettes est loin d'être une marche fonctionnelle, même si les modèles intégrant le système suspenseur et le tapis de marche comme le Lokomat tendent plus vers une marche fonctionnelle que leurs concurrents.

Par ailleurs, une séance d'entraînement avec un exosquelette reste un effort physique important pour un patient paraplégique et les coûts énergétiques et cardiovasculaires sont importants dans le cadre de patients qui sont souvent déconditionnés. [52]

### 1.2.3 Les exosquelettes en France

L'utilisation des exosquelettes par les masseurs-kinésithérapeutes diplômés d'état nécessite une formation préalable en interne, dans la structure possédant un exosquelette. Elle est réalisée par l'entreprise commercialisant le produit. Les formations durent jusqu'à 3 jours et permettent, une fois le praticien formé, d'utiliser le produit en binôme avec un autre praticien qui sera quant à lui en formation. A noter que l'exosquelette ne peut être utilisé qu'en présence du soignant formé par l'entreprise commercialisant le matériel.

Même si la plupart des exosquelettes médicaux disponibles actuellement sur le marché sont originaires des Etats-Unis ou bien d'Asie (Japon, Corée du Sud et Chine), la France travaille elle aussi sur un projet d'aide robotique à la marche nommée Atalante®. Celui-ci est développé par la société Wandercraft<sup>15</sup> en collaboration avec le centre de recherche INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique). Il a été mis en service pour la première fois en 2019 avec pour but d'aider les patients victimes de lésions médullaires incomplètes dans la rééducation à la marche. La société Wandercraft s'occupe du développement matériel et logistique de l'équipement tandis que le centre de recherche INRIA travaille sur le contrôle du mouvement et sa planification. Cet exosquelette est utilisé dans certains centres de rééducation neurologique français et belge, mais peu à l'étranger, impliquant qu'il n'est peu voire pas présent dans les études sur le sujet.

<sup>15</sup> <https://www.wandercraft.eu/>

Un point notable de cette invention est que le porteur ne nécessite pas d'appui avec ses membres supérieurs pour se maintenir debout, contrairement aux autres exosquelettes nécessitant pour la marche d'avoir des cannes anglaises ou un déambulateur. En effet, l'exosquelette est autoportant, permettant aux patients de simplement devoir contrôler les déplacements et mouvements de la machine. Il reste néanmoins accompagné d'une charpente mobile sur roue pour des raisons de sécurité.

En revanche, celui-ci est relativement imposant avec une hauteur de 160 cm pour 25 kg. Il est conçu pour aider des patients mesurant jusqu'à 190 cm et pesant jusqu'à 100 kg, en proposant une marche physiologique jusqu'à une vitesse de 1,8 km/h.

Une version avancée de celui-ci, nommé Atalante X est en développement avec le but d'être plus petit et pratique à utiliser en intégrant de nouvelles fonctionnalités, comme des capteurs de mouvements plus poussés et une analyse par une intelligence artificielle.



**Figure 3 : Photo de l'exosquelette Atalante®, développé par Wandercraft**

#### 1.2.4 Protocole de rééducation

L'exosquelette étant une innovation, il n'y a pas encore de consensus sur les protocoles d'utilisation chez les patients blessés médullaires, néanmoins, certains points ressortent dans la plupart des articles traitant du sujet. De plus, les entreprises d'exosquelettes ne proposent pas toutes le même protocole mais certaines informations sont retrouvées dans de nombreux cas. Cela nous permet de résumer un protocole général en 6 étapes, décrit ci-dessous.

La première partie est un bilan du patient et une vérification de l'admissibilité du patient à l'utilisation de l'exosquelette. Ce bilan est pluridisciplinaire (médecin, kiné, psychologue, ergothérapeute...) et s'assure que le patient ne présente aucune contre-indication à l'utilisation de l'appareil (poids, taille, spasticité, infection, escarres, équilibre, force des bras, trouble cognitifs etc...). De plus, il faut s'assurer que le kinésithérapeute en charge de la rééducation (ou au minimum des séances d'exosquelette) est formé par l'entreprise à l'utilisation de leur matériel.

La deuxième partie du protocole est très courte et consiste à adapter l'exosquelette au patient. En effet, la plupart des exosquelettes portatifs sont modulables, que ce soit par leurs dimensions (profondeur, hauteur...) mais aussi dans l'assistance qu'ils apportent (puissance, motorisation de hanche ou de genou, vitesse de pas...). De plus, comme décrit plus haut, certains exosquelettes utilisent des capteurs d'activation électrique des muscles qu'il va falloir vérifier et adapter au patient.

Cette phase d'adaptation repose sur les bilans et sur l'expérience du kinésithérapeute vis-à-vis de l'évolution de son patient. Néanmoins, il existe pour la majorité des exosquelettes des modes de fonctionnement pré-enregistrés permettant une utilisation plus facile et pratique.

Ensuite, la phase 3 consiste en l'apprentissage du patient à l'utilisation de l'exosquelette, avec des mouvements simples (assis-debout, debout-assis, faire 1 pas à gauche, faire 1 pas à droite, transfert de poids). Cette phase peut être très rapide si le patient arrive facilement à contrôler la machine. En effet, une fois que celui-ci est à l'aise avec la technologie, on peut passer à la phase suivante.

La phase 4 est souvent la plus longue et va dépendre de la récupération musculaire du patient. C'est la phase de « réentraînement » dans laquelle le patient va réaliser des exercices de marche. On va progressivement augmenter la distance et/ou la durée de chaque session de marche. Le but est de faciliter la récupération des capacités de marche chez le sujet. Il est également possible selon l'exosquelette de diminuer la quantité d'aide fournie par la machine afin d'augmenter l'effort et la dépense énergétique du patient. Il est aussi possible dans certains cas de faire travailler le patient avec plus d'autonomie, c'est-à-dire avec moins d'aide du kiné, souvent matérialisée par un harnais de sécurité attaché à une charpente supérieure mobile.

Ensuite vient la phase 5, dans laquelle le patient va travailler des exercices sur les activités supérieures de la marche (escaliers, enjambement d'obstacles ...) ainsi que des exercices plus spécifiques à son projet ou à son évolution. Cette phase est souvent entremêlée avec la phase 4 dans le but d'alterner les séances de rééducation et d'éviter une éventuelle accoutumance du patient à ses séances.

Enfin, en théorie, la dernière phase consiste à utiliser l'exosquelette avec l'assistance réglée au minimum. Le patient devra réaliser tous les exercices travaillés depuis le début du protocole sans aide extérieure de l'exosquelette dans le but de pouvoir réaliser ces mêmes exercices sans l'équipement.

### **1.3 Intérêt scientifique de la revue**

Le but principal de cette revue de littérature est de faire un état des lieux des connaissances et des publications actuelles concernant l'utilisation d'exosquelette de marche dans la rééducation des lésions médullaires.

En effet, les premières études traitant de l'utilisation des exosquelettes pour pallier aux troubles de la marche datent du début des années 2000, mais à cette époque, l'exosquelette était encore une innovation peu accessible et compliquée à se procurer pour des études et donc encore plus pour la rééducation

Durant les 10 dernières années, de nombreuses études sur le sujet ont vu le jour et cette technologie est un peu plus répandue dans les grands centres de rééducation, notamment en neurologie où l'on voit des patients avoir des séances de rééducation avec l'exosquelette.

C'est une technologie en constante évolution et des études sont publiées assez souvent sur le sujet.

De plus, l'intérêt secondaire de cette revue est de permettre de dégager des données interprétables des différentes études incluses, de manière à répondre à la problématique posée. De plus, on cherche à déterminer si, selon les données actuelles de la science, l'utilisation des exosquelettes de marche dans la rééducation des patients présentant une lésion médullaire permettrait d'augmenter leur capacité de déambulation.

Effectivement, comme énoncé dans l'introduction sur les lésions médullaires, la prévalence de celles-ci est en augmentation dans les pays développés et la récupération de la marche est l'objectif principal pour les patients et pour leurs familles. Il serait intéressant de mettre en lumière si cette possibilité thérapeutique s'avère être efficace aux yeux de la science et donc si la rééducation grâce à cet outil technologique est pertinente.

#### **1.4 Hypothèses théoriques sur l'exosquelette**

On peut supposer que l'exosquelette ait une efficacité sur le processus de récupération de la marche chez les patients blessés médullaires. En effet, il a été prouvé que l'utilisation d'un exosquelette pour la marche chez les patients ayant subi un Accident Vasculaire Cérébral (AVC) stimule la neuroplasticité<sup>16</sup> et permet une récupération plus rapide et plus efficace. [53] On peut donc supposer qu'un mécanisme similaire puisse intervenir dans le cadre d'une rééducation de patients blessés médullaires incomplets.

De plus, lors d'une lésion médullaire traumatique, le schéma corporel du sujet est largement modifié et la stimulation procurée par la marche assistée ou suppléée par un exosquelette pourrait permettre de reformer un schéma moteur intégrant la marche et ainsi aider à la récupération de celle-ci.

Enfin, l'exosquelette offre aussi un effet psychologique positif sur le patient qui va se voir marcher, retrouver confiance en lui, avoir le sentiment de bien avancer dans la rééducation, mais il faut faire attention car cela peut aussi créer de faux espoirs à des patients qui ne pourront jamais remarcher.

On suppose donc qu'une rééducation incluant des séances de travail de marche avec exosquelette en plus de séances dite classiques (étirements, renforcement, travail en décharge avec suspension...) sera plus efficace que la rééducation classique seule.

#### **1.5 Objectif de la revue**

L'objectif de cette revue est de déterminer s'il existe ou non un intérêt statistiquement et cliniquement significatif à l'utilisation des exosquelettes dans la récupération de la marche chez les patients blessés

---

<sup>16</sup> Aussi appelée plasticité neuronale ou cérébrale, c'est l'ensemble des processus qui permettent aux neurones de s'adapter aux modifications de l'environnement ou des changements internes de l'organismes. Elle comprend la création de nouveaux neurones, la réorganisation ou encore l'amélioration des communications entre ceux-ci.

médullaires incomplets. En effet ceux-ci présentent un meilleur pronostic de récupération musculaire et donc de récupération de la marche que les patients avec une lésion complète.

Les objectifs secondaires seraient de savoir si une ou plusieurs marques particulières semblent être plus efficaces, de préciser sur quels paramètres de la marche l'action est la plus marquée, et, s'il existe, quel serait le protocole de rééducation type intégrant l'exosquelette.

En s'appuyant sur ces objectifs, et sur le modèle PICO, on peut déterminer la question de recherche qui est : L'utilisation des exosquelettes chez les patients blessés médullaire incomplets permet-il une meilleure récupération des fonctions locomotrices comparé à une rééducation classique seule.

## 2. Méthode

De manière à formuler une question de recherche pertinente, il faut nous intéresser aux questions de premier plan ou foreground question, dont on peut citer 4 types : étiologique, thérapeutique, diagnostique (ou clinimétrique) et pronostique.

Cette revue se base sur une question thérapeutique curative, c'est-à-dire qu'elle veut étudier l'efficacité d'un traitement par rapport à un placebo ou un traitement contrôlé. Ici, nous allons nous intéresser à l'efficacité de l'utilisation d'un exosquelette de marche pour les patients paraplégiques incomplets par rapport à une rééducation classique.

Cette revue a été conçue en suivant les directives du modèle PRISMA, impliquant une recherche bibliographique approfondie afin de dégager des articles pouvant répondre à la question de recherche citée plus haut. [54] [55]

La méthodologie de recherche a été effectuée avant la rédaction de la revue de littérature.

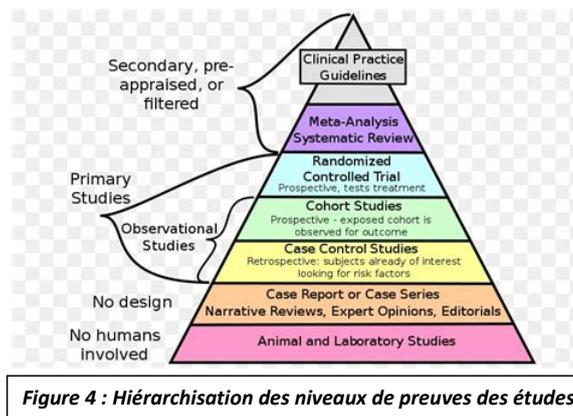
### 2.1 Critères d'éligibilité des études retenues pour cette revue

#### 2.1.1 Schéma d'étude

Tous d'abord, une revue de littérature ou revue systématique est une étude secondaire contrairement aux articles analysés dans celle-ci qui sont eux des articles primaires.

Ensuite, il faut noter que toutes les études publiées n'ont pas le même niveau de preuve scientifique et que, selon la problématique initiale, les études qui nous intéressent ne seront pas les mêmes.

Ainsi le système de classement de niveau de preuve reconnu et le plus utilisé à l'heure actuelle est l'OCEBM, « Oxford Centre for Evidence-Based Medicine 2011 Level of Evidence » [56]



Les essais cliniques sont des études expérimentales qui visent à comparer deux groupes similaires au début, dont l'un est témoin et l'autre reçoit une thérapeutique expérimentale. On cherche donc à déterminer l'effet de cette thérapeutique par rapport au groupe témoin ou contrôle. C'est le schéma d'étude qui permet, quand il est bien réalisé, d'apprécier au mieux l'efficacité ou non d'un traitement

qu'il soit curatif ou préventif. Néanmoins, même s'il semble être le meilleur choix de schéma d'étude à inclure, il reste primordial de vérifier les risques de biais méthodologiques qui peuvent être présents dans tout type d'études.

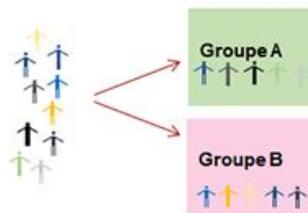
Ainsi, pour cette revue, avec une question thérapeutique, les études que nous allons inclure seront les essais cliniques, randomisés si possible, et exclure les études de cohortes ou de suivis, les études de cas, les séries de cas, revues narratives, et les études sur les animaux. Nous excluons aussi les revues de littérature. De plus, les études qui ne seront pas rédigées en anglais ou en français seront exclues.

Les essais cliniques randomisés sont aujourd'hui bien définis dans le milieu médical et de la recherche. L'OMS les définit comme le type d'étude qui étudie les nouveaux traitements et tests et qui évalue leurs effets sur les critères de santé de l'Homme. Ils sont très encadrés et comportent 5 phases bien définies :

- Phase Pré-Clinique : Etude des effets (efficacité et toxicité) en laboratoire, puis sur des modèles animaux.
- Phase 1 : Etude sur un petit groupe de volontaires pour évaluer la quantité ou la possibilité d'utilisation du nouveau traitement sans danger pour l'homme.
- Phase 2 : Etude sur un groupe plus large afin de surveiller les effets secondaires ou indésirables qui pourraient survenir et fixer les seuils de tolérances.
- Phase 3 : Etude sur une population plus globale, de différents pays et ethnies afin d'apprécier l'efficacité.
- Phase 4 : Après la mise en service du traitement, elle correspond au suivi à long terme des effets (pharmacovigilance).

De plus, il existe plusieurs types d'essais cliniques randomisés, mais les deux principaux que l'on va retrouver ici sont :

- Les essais cliniques en groupes parallèles, dans lequel les patients, une fois aléatoirement répartis dans leurs groupes (témoin ou test) resteront dans ce groupe tout au long de la période d'essai.



**Figure 5 : Schématisation d'un essai clinique randomisé en groupes parallèles**

- Les essais cliniques en cross-over vont être réalisés en 2 temps. Le premier temps est similaire à un essai en groupes parallèles, puis on observera une phase de sevrage avec l'arrêt des thérapeutiques et le deuxième temps dans lequel les patients du groupe contrôle deviendront les patients tests et inversement. L'intérêt de ce type d'essai est que les patients seront leur propre témoin car ils seront amenés à utiliser le traitement et son placebo.

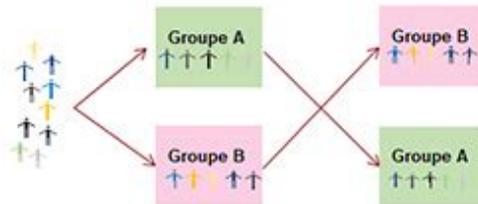


Figure 6 : Schématisation d'un essai clinique randomisé en cross over

### 2.1.2 Population et Pathologie

En ce qui concerne la population incluse dans cette revue, on s'intéresse aux personnes de plus de 16 ans présentant une lésion médullaire incomplète (de score ASIA B, C ou D), d'origine traumatique majoritairement. Des patients présentant une lésion non-traumatique stabilisée, c'est-à-dire en phase chronique seront acceptés dans la revue. Les patients entre 16 et 18 ans devront avoir une autorisation d'un tuteur légal pour la participation dans l'étude.

Ainsi, les patients de moins de 16 ans, les patients entre 16 et 18 ans qui n'ont pas de d'autorisation d'un tuteur légal et les patients présentant une lésion atraumatique (SEP, spina bifida...) en phase aiguë sont exclus. Comme précisé dans les objectifs de cette revue, notre intérêt se porte uniquement sur les lésions incomplètes du fait de leur meilleur pronostic de récupération musculaire et donc de récupération de la marche. C'est pourquoi, les patients présentant une lésion complète sont exclus de la revue.

Aucun critère d'exclusion n'est retenu quant à l'origine, l'ethnicité ou le milieu social des patients. Par ailleurs, le temps depuis la lésion n'est pas un facteur d'exclusion.

De plus, un consentement éclairé et la participation volontaire à l'étude est un prérequis.

Dans le cas d'un manque de précision à ce sujet dans les études, on pourra considérer que ces critères sont validés.

### 2.1.3 Intervention

L'intervention étudiée est la rééducation à la marche avec utilisation d'un système robotisé d'aide à la marche en complément des séances de rééducation classique, (comprenant des mobilisations, étirements, renforcement musculaire...) Nous traiterons uniquement les données issues de l'utilisation d'exosquelettes dit portatifs ou autoporteurs.

L'utilisation de ces systèmes étant encore peu documentée et leurs applications en centre de rééducation peu nombreuses, il n'y a pas de protocole de rééducation précis et commun entre les différentes marques et modèles d'exosquelette.

### 2.1.4 Comparateur

Le comparateur sera le groupe contrôle qui suivra une rééducation classique, similaire au groupe expérimental à ceci près qu'ils n'utiliseront pas d'exosquelette. La rééducation comprendra des mobilisations, étirements, renforcement musculaire ainsi que de la rééducation à la marche sans exosquelette.

Il faut noter que les deux groupes (contrôle et expérimental) doivent être similaires au début de l'étude, afin d'avoir des résultats interprétables.

### 2.1.5 Critères de jugement

Le critère de jugement principal évalué est la progression des capacités de marche, de par l'amélioration de ces paramètres : force musculaire, mobilité fonctionnelle, périmètre de marche et autonomie de marche.

Les études qui traitent ces critères en tant que critères de jugements secondaires sont aussi acceptées.

## 2.2 Méthodologie de recherche des études

Pour la recherche des études à inclure dans la revue, les sources principalement utilisées sont les bases de données électroniques PubMed, PEDro, Google Scholar et Cochrane Library. Une recherche dans les références citées dans les articles a été effectuée et la bibliothèque universitaire en ligne a été consultée elle aussi. Néanmoins, la littérature grise et les registres de protocoles n'ont pas été utilisés.

### 2.2.1 Equation de recherche utilisée

L'équation de recherche va nous permettre de sélectionner parmi le nombre très important d'articles présents dans les bases de données ceux qui seront utiles afin de répondre à notre questionnement.

Elle se construit à partir de la problématique posée et sur la base du modèle PICO. On utilisera des termes en anglais afin de prendre en compte le maximum d'articles possible. On va aussi utiliser la troncature, matérialisée par un astérisque (\*) permettant de rechercher en même temps tous les mots utilisant le même début ou une racine commune. On retrouve ainsi des termes pour chacune des catégories :

*Tableau III : Modèle PICO et termes utilisés pour l'équation de recherche, réalisé par l'auteur :*

Population	Spinal Cord injury	SCI	Paraplegi*	Spinal Cord trauma
Intervention	Exoskeleton	Exoskelet*		
Comparateur				
Outcome (critère de jugement)	Gait	Walk*	Ambulation	Locomotion

Aucun terme n'a été énoncé dans la catégorie comparateur car celui-ci est la rééducation classiquement proposée dans la réhabilitation à la marche d'une lésion médullaire incomplète. Celle-ci n'est par ailleurs pas souvent mentionnée de manière précise ou avec les mêmes termes selon les articles. Nous avons donc choisi de ne pas le préciser afin d'éviter une perte d'articles possiblement intéressants.

On va ensuite associer chacun de ces termes dans leur catégorie en utilisant l'opérateur booléen « OR » afin d'avoir, pour chaque catégorie, la recherche la plus exhaustive possible.

La recherche de ces termes et leurs synonymes sera filtrée par le champ « Title/Abstract » car l'Abstract se veut être une synthèse précise de l'article et y intègre les éléments principaux ainsi que les mots clés permettant d'identifier et de retrouver l'article.

Par la suite, on appariera les termes des différentes catégories ensemble en utilisant l'opérateur booléen « AND », nous permettant d'obtenir l'équation complète ci-dessous :

« ((Spinal Cord injury\*) OR (SCI) OR (Paraplegia\*) OR (Spinal Cord trauma)) AND (exoskeleton) OR (exoskelet\*) AND (((gait) OR (walk\*)) OR (ambulat\*) OR (locomotion)) »

Enfin, de manière à sélectionner des articles avec un niveau de preuve sensiblement élevé, nous avons épuré les résultats obtenus avec les filtres « Clinical Trial » et « Randomized controlled trial ».

Sur PEDro, la recherche d'article a utilisé des termes similaires, selon les champs proposés par le module de recherche avancée de la base de données. Après plusieurs essais, sur les différents termes de la problématique, voici ceux qui ont été exploités pour récupérer les articles :

Abstract : Exoskelet\*

Subdiscipline : Neurology

Method : Clinical Trial

*Néanmoins, pendant la re-vérification de ces étapes à la fin du mois de mars, une nouvelle étude, publiée le 24 mars 2023 remplissant les critères d'inclusions de la revue a été ajoutée aux études incluses afin d'essayer d'augmenter la pertinence des résultats trouvés.*

### **2.3 Méthode de sélection des études**

Une fois la recherche initiale terminée, on obtient une liste d'articles qui peuvent potentiellement répondre à notre question de recherche. On va donc trier cette liste en suivant 3 étapes :

- Première étape : lecture des titres des articles proposés par la base de données et exclusion des articles ne répondant pas à la question de recherche.
- Deuxième étape : lecture des abstracts des articles retenus après la première étape et exclusion des articles ne répondant pas à la question de recherche ou ne confirmant pas les critères d'éligibilité.
- Troisième étape : lecture complète des articles sélectionnés après l'étape 2 et validation finale des articles inclus.

## 2.4 Méthode d'extraction et d'analyse des données

L'extraction des données et leur analyse sont faites par lecture approfondie des articles inclus, en se focalisant sur les chapitres des études pouvant répondre à la problématique.

Ils sont classés dans un tableau permettant la comparaison des différents points de convergence et de divergence présents dans chacune des études.

Ainsi, on n'utilisera que les données sur les exosquelettes portatifs, et traitant l'amélioration de la marche, selon les critères de jugement cités plus haut.

L'analyse et l'extraction des données sont, comme la sélection des études, réalisées par une seule personne : l'auteur de la revue.

## 2.5 Evaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

En ce qui concerne l'évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées, les recommandations pour les essais cliniques randomisés d'études thérapeutiques utilisent les échelles Cochrane Risk of Bias Tool et l'échelle PEDro. La littérature suggère que les deux échelles peuvent être utilisées même si les questions posées sont différentes. En effet, elles quantifient les risques de biais de manière similaire. Néanmoins, dans le cadre des essais cliniques randomisés en kinésithérapie (physiotherapy) il est suggéré d'utiliser plutôt l'échelle PEDro. [57] [58]

Nous utiliserons donc l'échelle PEDro pour objectiver la qualité méthodologique des articles inclus.

De plus, nous utiliserons l'échelle « Grades of Recommendation, Assessment, Development, and Evaluation » (GRADE) afin d'apprécier la force et la qualité des recommandations des articles d'après leurs résultats. [59] [60]

## 2.6 Méthode de synthèse des résultats

Afin d'être concis et efficace, les données seront regroupées et analysées par critère de jugement et par échéance temporelle. Les résultats seront présentés sous forme de tableaux, différenciés clairement selon les critères de jugement analysés.

Ces tableaux feront mention de valeurs importantes dans une comparaison de plusieurs thérapeutiques :

- La moyenne des différences (Mean difference ou MD dans les tableaux) intergroupe (entre les deux groupe) avant et après l'intervention.
- La valeur p
- L'intervalle de confiance à 95% (IC95%)

La moyenne des différences permet de comparer l'efficacité du traitement sur un critère donné et à une date donnée et d'en analyser la significativité statistique et clinique. C'est ce qu'on appelle la taille d'effet. Elle est associée à un écart-type qui permet de visualiser la dispersion des valeurs dont on a calculé la moyenne.

La valeur  $p$  permet, quand elle est inférieure à 0.05 d'affirmer qu'il y a moins de 5% de chance que l'effet observé soit dû au hasard. Néanmoins, elle n'est pas toujours donnée.

Enfin, l'intervalle de confiance à 95% est par définition l'intervalle dans lequel la valeur de la moyenne des différences a 95% de chance de se situer. Si celui-ci ne comprend pas la valeur nulle, alors on pourra dire que la moyenne des différences observée est significative, qu'elle soit en faveur ou contre le traitement étudié.

Ces valeurs seront présentées en association avec des forest plots (graphique en forêt) qui sont la représentation graphique d'une méta-analyse dans une étude thérapeutique. Il y sera ajouté les biais propres à chaque étude grâce au logiciel de modélisation.

### **3. Résultats**

#### **3.1 Description des études et du processus de recherche**

La recherche documentaire des articles a été effectuée entre le 15 Octobre 2022 et le 26 Novembre 2022 sur les bases de données électroniques en ligne : PubMed, PEDro, Cochrane Library.

##### **3.1.1 Processus de selection des études**

Une fois les recherches dans les différentes bases de données effectuées, le nombre total de références trouvées était de 771, avec 729 articles dans PubMed et 42 dans PEDro.

Sur la base de données PubMed, on a pu exclure 675 références une fois les filtres « Randomized Controlled Trial » (ou essais contrôlés randomisés) et « Clinical Trial » (ou essais cliniques) cochés. On considère que ces filtres inhérents à la base de données électroniques sont fiables. Il nous reste donc 54 articles à trier.

Sur PEDro, l'équation de recherche nous permet de sélectionner 42 références correspondantes que l'on va devoir trier aussi.

Parmi toutes ces références, on a pu exclure 3 doublons, et nous avons à présent 93 références à trier suivant les 3 étapes présentées dans la méthode.

A la suite des deux premières étapes, 85 études ont été exclues pour les motifs suivants :

- Mauvaise Population : 48
- Mauvais Critère de jugement : 17
- Mauvaise Intervention : 13
- Mauvais Comparateur : 4
- Mauvais schéma d'étude : 3

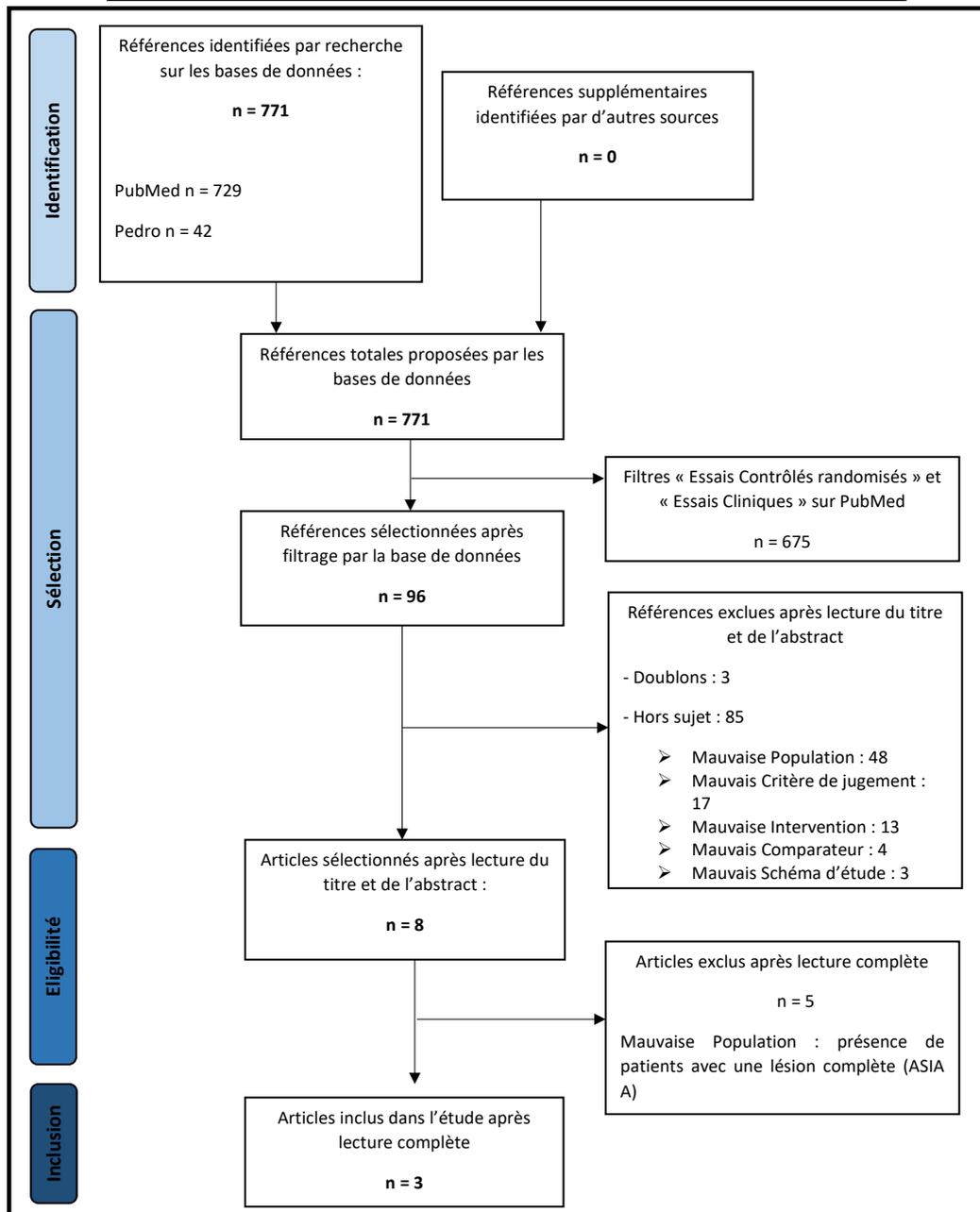
Après lecture du titre et de l'abstract, il nous reste donc 8 études qui seront, pour la troisième et dernière étape des sélections lues en entier afin de s'assurer de la cohérence des études par rapport à la question clinique.

Ainsi, nous obtenons un total de 3 études définitivement incluses pour cette revue de littérature avec 5 études exclues car présentant parmi les groupes de recherche des patients avec une lésion médullaire complètes ou ASIA A.

Un tableau présentant ces études exclues est disponible en annexe (*voir annexe 8.6*).

### 3.1.2 Diagramme de Flux

Figure 7 : Diagramme de Flux du processus de sélection des études, réalisé par l'auteur



### 3.1.3 Etudes incluses

Les études incluses sont donc :

*Tableau IV : Synthèse des études incluses dans la revue, réalisé par l'auteur :*

Etudes incluses	Nombre de patients dans l'étude	Comparateur	Schéma d'étude
<b>Chang2018</b> [61]	7	Kinésithérapie conventionnelle (Conventional Physical therapy, CPT)	Essai Clinique Randomisé en groupes parallèles
<b>Edwards2022</b> [62]	25	Un groupe Actif avec tapis de marche et support du poids du corps Un groupe passif avec rééducation classique	Essai Clinique Randomisé en groupes parallèles
<b>Gil-Agudo2023</b> [63]	21	Rééducation à la marche traditionnelle	Essai Clinique Randomisé en groupes parallèles

Un tableau détaillé des caractéristiques de chaque étude est disponible en Annexe (voir Annexe 8.7)

### 3.2 Risques de biais des études incluses

Comme cité dans la méthode, nous avons utilisé l'échelle PEDro (voir Annexe 8.8) afin de quantifier le risque de biais des études incluses.

L'échelle PEDro<sup>17</sup> permet d'évaluer les risques de biais d'une étude en se basant sur 11 critères. Les items 2 à 9 permettent d'apprécier la validité interne de l'étude et valent 1 point s'ils sont validés. Les items 10 et 11 permettent de savoir si les résultats présentent suffisamment d'informations statistiques pour être interprétables et valent aussi 1 point. Enfin le premier item est relatif à la validité externe, afin de savoir si l'essai est généralisable mais celui-ci n'est pas pris en compte dans le score.

Ce score est donné sur la base de données électroniques de PEDro et permet de rapidement identifier les études ayant un bon ou un mauvais score PEDro et ainsi connaître à l'avance la qualité méthodologique des études trouvées.

*Tableau V : Risques de biais des études selon l'échelle PEDro, réalisé par l'auteur :*

Echelle Pedro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Score (sur 10 points)
<b>Chang2018</b> [61]	V	V	V	X	X	X	V	X	X	X	V	4
<b>Edwards2022</b> [62]	X	V	V	V	X	X	V	X	X	V	V	6
<b>Gil-Agudo2023</b> [63]	V	V	V	V	X	X	V	V	X	V	V	7

<sup>17</sup> <https://pedro.org.au/french/resources/pedro-scale/>

Les biais retrouvés dans les études sont expliqués et listés ci-dessous dans l'ordre de l'échelle PEDro :

- **Item 1** : L'étude Edwards2022 [62] mentionne sa liste de critères d'inclusion et d'exclusion, mais ne mentionne pas la source de recrutement des sujets. Même si cet item ne fait pas baisser le score de l'échelle PEDro, il n'est pas validé pour cette étude.
- **Item 4 : Biais de sélection** : Dans l'étude de Chang2018 [61], les différences entre les groupes au niveau des indicateurs utilisés par l'étude sont plutôt importantes et sont présentes sur tous les indicateurs. De ce fait, les groupes de début d'étude ne sont pas homogènes et cela amène un biais de sélection.
- **Item 5 et 6 : Biais d'évaluation** : On peut remarquer que ce biais est présent dans les 3 études. Cela est dû au fait que, de par la nature de l'intervention (rééducation avec exosquelette) et la nature des comparateurs (rééducation sans exosquelette), les patients et les thérapeutes qui les accompagnent font la différences entre les deux groupes et ne sont donc logiquement pas en aveugle.
- **Item 8 : Biais de suivi** : Ce biais, présent dans les articles de Chang2018 [61] et Edwards2022 [62] est mis en évidence par les patients qui ne terminent pas l'étude (perdus de vue) par rapport au faible nombre de patients totaux inclus. En effet, dans ces 2 études, le nombre de patients inclus dans la synthèse finale est inférieur à 85% du nombre de patients inclus et randomisés dans les différents groupes au départ de l'étude.
- **Item 9 : Biais d'attrition** : Ici aussi, le biais est présent dans les 3 études car les sujets perdus de vue n'ont pas été analysés en intention de traiter. Cela signifie que dans la synthèse finale des résultats, les données de ces sujets n'ont pas été utilisées.
- **Item 10 : Biais de mesure** : L'étude Chang2018 [61] ne présente aucun résultats comparatif entre le groupe intervention et le groupe contrôle. En effet, elle ne présente que des résultats intra-groupe, de ce fait, on observe un biais de mesure.

### 3.3 Effets de l'intervention sur les critères de jugement de cette revue

#### 3.3.1 Critères de jugement et comment sont-ils évalués

Il a été formulé que les critères de jugement seraient la force musculaire, l'autonomie fonctionnelle, le périmètre de marche et la vitesse de marche.

Pour évaluer ces paramètres, on retiendra :

- Force musculaire :

L'échelle « Lower Extremity Motor Score » (LEMS) est une échelle d'évaluation de la force musculaire de groupe musculaires clés qu'on retrouve dans la partie motrice du score ASIA. Les cotations vont de 0 à 5, similaires aux cotations du MRC, c'est-à-dire que 0 indique un muscle sans contraction (ou paralysé) et 5 un muscle avec une force physiologique (sain). On teste ainsi les 5 groupes musculaires de chaque membre inférieur, ce qui nous donne un score sur 25 de chaque côté, et donc 50 en tout. [64] (voir annexe 8.9)

- Périmètre et vitesse de marche :

Pour apprécier le périmètre de marche et de ce fait la vitesse confortable de marche des patients, nous allons utiliser le Test de marche de 6 minutes (TDM6) ou « 6 minute walking test » (6MWT). Il consiste à faire marcher le patient pendant 6 minutes à sa vitesse maximale entre deux cônes disposés à 30 mètres l'un de l'autre de manière à compter des allers-retours de 60 mètres. Il sera placé des marques visuelles tous les 3 mètres afin d'affiner le calcul final de la distance parcourue. Le thérapeute peut, dans le cadre d'une indication cardio-respiratoire associée prendre la fréquence cardiaque ainsi que la saturation en oxygène avant, et après le test. Le patient a le droit de s'arrêter pour reprendre son souffle, se reposer avant de repartir quand il s'en sent capable, néanmoins, le chronomètre continuera de défiler. [65] (voir Annexe 8.10)

On acceptera aussi le 2 minute walking test (2MWT) qui est une alternative validée et fiable au 6MWT. [66]

- Mobilité fonctionnelle :

Le « Timed Up and Go test » est un test rapide et facile à faire permettant d'apprécier la mobilité d'un patient, son risque de chute (surtout chez les personnes âgées) ainsi que les capacités cognitives en double tâche avec sa variante TUG avec double tâche. Il se réalise avec une chaise et un plot situé à 3 mètres de celle-ci. Le patient devra se lever au signal de départ (« go »), marcher et effectuer le tour du plot puis revenir s'asseoir le plus vite possible. On chronométrera le temps mis par le sujet à réaliser le parcours et on pourra ainsi le comparer aux prochains essais au cours de la progression de la rééducation. Il a été montré qu'un temps supérieur à 12 secondes chez les personnes adultes signifie un risque de chute élevé. Il démontre une bonne fiabilité et une bonne validité en gériatrie et dans certaines affections neurologiques comme les lésions médullaires ou les AVC. [67] (voir annexe 8.11)

- Autonomie de marche :

Le « Walking Index for Spinal Cord Injury II » (WISCI-II) est une grille d'évaluation de la marche chez les patients victimes de lésions médullaires. C'est la version 2 ou révisée, qui permet de graduer l'évolution de la marche sur 21 niveaux, en tenant compte des aides techniques (barres parallèles, cannes anglaises ou déambulateur ou sans aides techniques), des aides humaines (0, 1 ou 2 personnes) et des orthèses si le sujet en utilise. Le niveau de marche sera attribué au sujet s'il réussit à parcourir 10 mètres avec les différentes modalités d'aides citées au-dessus. Il a démontré une bonne validité et une bonne fiabilité dans les études récentes. [43] [68] (voir annexe 8.12)

### 3.4 Analyse des données

Afin de réaliser une analyse quantitative des données, il faut que les articles présentent les informations nécessaires relatives aux différents groupes et interventions. Nous aurons besoin comme cité dans la méthode, de la taille d'effet (moyenne des différences inter-groupes), de l'intervalle de confiance à 95%, des écarts-types ainsi que des quantiles<sup>18</sup>.

Dans les cas où ces données ne sont pas mentionnées dans l'article mais sont calculables à partir des informations présentes, nous ferons les calculs permettant l'analyse finale.

---

<sup>18</sup> Valeur qui divise le groupe de données en intervalles de même probabilité. Par exemple, la médiane est le quantile qui divise le groupe de données en 2 groupes de même probabilité.

### 3.4.1 Tailles d'effet et significativité statistique

#### 3.4.1.1 Lower Extremity Motor Scale (LEMS)

L'échelle LEMS a été utilisée dans 2 des 3 études incluses, néanmoins, dans l'étude de Chang2018 [61], les seules données sur le LEMS sont présentées sous forme d'un graphique. Celui-ci n'étant pas gradué précisément, nous ne pouvons donc pas utiliser ces informations.

Par ailleurs, les données permettant de calculer la taille d'effet sont disponibles dans l'étude Gil-Agudo2023 [63] et nous ont permis de calculer les informations présentes dans le tableau ci-dessous.

*Tableau VI : Taille d'effet et significativité statistique de l'échelle LEMS, réalisé par l'auteur :*

	Taille d'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
<b>Gil-Agudo2023 [63]</b>	4,03	[-3,64 ; 11,70]	$p < 0,05$ Statistiquement significatif

Ainsi, on peut voir que l'intervalle de confiance croise la valeur nulle et ne permet pas d'attester de l'efficacité d'un traitement par rapport à l'autre. Malgré cela, il semble que les valeurs soit légèrement plus en faveur du groupe expérimental dans l'étude de Gil-Agudo2023 [63]. De plus, celle-ci présente des résultats statistiquement significatifs ( $p < 0,05$ ).

#### 3.4.1.2 6 Minute Walking Test (6MWT)

Le TDM6 est utilisé dans les trois études, toutefois, Edwards2022 [62] nous propose les résultats sous forme de médiane et de quartiles. On pourra mesurer la taille d'effet avec l'écart interquartile ou la « Normalized Median Difference » (NMD, Différence Normalisée des Médianes). La NMD permet de mesurer l'écart relatif entre 2 médianes en prenant en compte que si la distribution des deux groupes n'est pas similaire, celle-ci peut être biaisé. Néanmoins, la distribution des deux groupes a été faite de manière aléatoire, et les groupes sont similaires au début de l'étude. De plus, on peut estimer la dispersion des valeurs grâce à l'intervalle interquartile (IIQ). Celui-ci est moins précis qu'un écart-type mais nous permet de commenter la dispersion.

Le descriptif des calculs est disponibles en annexe (voir annexe 8.13).

*Tableau VII : Taille d'effet du 6MWT à partir d'une médiane et significativité statistique, réalisé par l'auteur :*

Edwards2022 [62]	6MWT		Valeur p
	Intervention / CA	Intervention / CP	
<b>Taille d'effet (NMD)</b>	0,22	0,25	$P > 0,05$ Non significatif

CA : groupe contrôle actif ; CP : groupe contrôle passif

On peut voir une différence de 0,22 et 0,25 entre les médianes des groupes Intervention / Active Contrôle et Intervention / Passive Contrôle ce qui impliquent une différence de 22% et 25% respectivement.

*Tableau VIII : Estimation de la dispersion des valeurs du 6MWT avec l'intervalle interquartile, réalisé par l'auteur :*

Edwards2022 [62]	6MWT (après 12 semaines d'étude)		
	Intervention	Contrôle Actif (CA)	Contrôle Passif (CP)
<b>Q1</b>	268 ft	219,5 ft	148,8 ft
<b>Q3</b>	687,3 ft	711,5 ft	466,6 ft
<b>Intervalle Interquartiles (IIQ)</b>	419,3 ft	492 ft	317,8 ft
<b>Médianes</b>	538 ft	346,6 ft	320 ft

On peut voir que l'IIQ est plus élevée dans le groupe contrôle actif que dans le groupe intervention, lui-même plus important que pour le groupe contrôle passif. On peut aussi se servir de la médiane pour estimer la dispersion. Dans le cas du groupe intervention et du groupe CP, l'IIQ est plus petit que la médiane, signifiant que la distribution est plutôt étroite. A l'inverse pour le groupe CA, l'IIQ est plus grand que la médiane, signifiant une plus grande dispersion des valeurs.

Pour les deux autres études, les résultats fournis sont suffisants pour nous permettre d'effectuer les calculs.

*Tableau IX : Taille d'effet et signficativité statistique du 6MWT, réalisé par l'auteur :*

	Taille d'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
<b>Chang2018 [61]</b>	- 87	[-209,76 ; 35,76]	Statistiquement significatif*
<b>Gil-Agudo2023 [63]</b>	24,51	[-93,97 ; 142,99]	$p < 0,05$ Statistiquement significatif

*\*la valeur de p n'est pas donnée mais le texte indique que c'est statistiquement significatif.*

Pour nos 2 études, on observe encore une fois des intervalles de confiances croisant la valeur nulle, donc on ne peut pas attester que le traitement expérimental est plus efficace que le contrôle ou inversement. Néanmoins, dans nos 2 études, les résultats sont annoncés comme statistiquement significatifs.

### 3.4.1.3 Timed Up and Go test (TUG)

Le TUG est utilisé dans les trois études, mais ici encore, Edwards2022 [62] nous propose les résultats sous forme de médiane et de quartiles, les mêmes calculs que précédemment ont été effectués et sont disponibles en annexe (voir annexe 8.12).

Tableau X : Taille d'effet du TUG à partir d'une médiane et significativité statistique, réalisé par l'auteur :

Edwards2022 [62]	TUG (après 12 semaines d'étude)		Valeur p
	Intervention / AC	Intervention / PC	
Taille d'effet (NMD)	-0,06	-0,27	P > 0,05 Non significatif

AC : groupe Active contrôle ; PC : groupe Passive contrôle

On peut voir une différence de -0,06 et -0,27 entre les médianes des groupes Intervention / Active Contrôle et Intervention / Passive Contrôle ce qui implique une différence de 6% et 27% en respectivement.

Tableau XI : Estimation de la dispersion des valeurs du TUG avec l'intervalle interquartile, réalisé par l'auteur :

Edwards2022 [62]	TUG (après 12 semaines d'étude)		
	Intervention	Contrôle Actif (CA)	Contrôle Passif (CP)
Q1	17,3 s	26 s	29 s
Q3	53 s	70,7 s	64,9 s
Intervalle Interquartile (IIQ)	35,7 s	44,7 s	35,9 s
Médianes	26,4 s	30 s	46 s

On peut voir ici que l'IIQ est similaire dans les groupes intervention et CP et qu'il est plus élevée dans le groupe CA. En comparant avec la médiane, on peut estimer que la dispersion est plus grande dans les groupes intervention et CA car l'IIQ est plus grand que la médiane, à l'inverse du groupe CP.

Pour les deux autres études, les résultats fournis sont suffisants pour nous permettre d'effectuer les calculs.

Tableau XII : Taille d'effet et significativité statistique du TUG, réalisé par l'auteur :

	Taille d'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
Chang2018 [61]	19	[-5,36 ; 43,36]	Non statistiquement significatif
Gil-Agudo2023 [63]	3,12	[-13,26 ; 19,5]	$p < 0,05$ Statistiquement significatif

Pour nos 2 études, on observe encore une fois des intervalles de confiances croisant la valeur nulle, donc on ne peut pas attester que le traitement expérimental est plus efficace que le contrôle ou inversement. Néanmoins, dans nos 2 études, les résultats sont annoncés comme statistiquement significatifs.

#### 3.4.1.4 Walking Index for Spinal Cord Injury – II (WISCI-II)

Le WISCI-II est utilisé dans Edwards2022 [62] et dans Gil-Agudo2023 [63], en revanche, Edwards2022 [62] ne fait pas mention des résultats de ce critère de jugement. Ainsi, seules les données de Gil-Agudo2023 [63] sont disponibles. Or l'étude semble montrer des erreurs de calcul et de présentation des résultats pour le groupe expérimental alors que ceux-ci sont correctement effectués pour le groupe contrôle. Un tableau récapitulatif des valeurs brutes et des calculs est disponible en annexe (voir annexe 8.14).

*Tableau XIII : Taille d'effet et significativité statistique du WISCI-II, réalisé par l'auteur :*

	Taille d'effet	Intervalle de confiance à 95%	Valeur p
<b>Gil-Agudo2023 [63]</b>	0,76	[-3,25 ; 4,77]	$p < 0,05$ Statistiquement significatif

On peut dire encore une fois que l'intervalle de confiance à 95% croise la valeur nulle et ne permet donc pas d'établir si un des traitements est plus efficace que l'autre. Cependant, nous savons que le résultat est statistiquement significatif.

### 3.4.2 Méta-Analyse

Le forest plot (ou diagramme en forêt) est la représentation graphique d'une analyse quantitative ou méta-analyse, il se réalise par exemple avec le logiciel RevMan Manager 5.4. Il permet de comparer directement l'efficacité d'une intervention (taille d'effet) et l'intervalle de confiance de plusieurs études afin d'en tirer une conclusion globale. Ils sont pratiques pour visualiser rapidement la synthèse des résultats de plusieurs études.

Pour le réaliser, il est nécessaire d'avoir pour un même outil de mesure, les moyennes des groupes expérimentaux et contrôles ainsi que les écarts types et le nombre de sujets dans chacun des groupes.

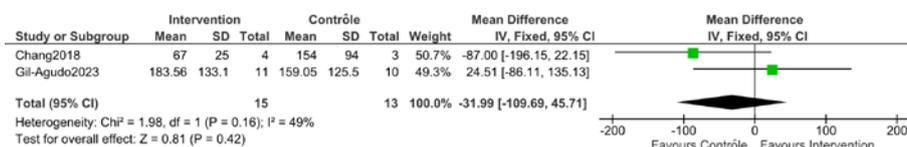
Ainsi, pour les critères de jugement qui ont présenté des résultats sous forme de médianes, nous serons dans l'impossibilité de les inclure dans la méta-analyse.

#### 3.4.2.1 LEMS

De par le fait que seule l'étude de Gil-Agudo2023 [63], présente des résultats interprétables pour ce critère de jugement, nous n'avons pas pu réaliser de forest plot.

Les résultats ont été présentés précédemment dans le tableau VI.

### 3.4.2.2 6MWT



**Figure 8 : Forest Plot des données du 6 Minutes Walking Test, réalisé par l’auteur**

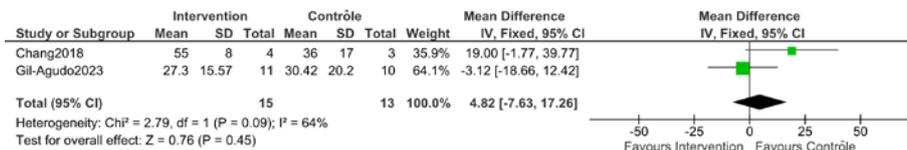
Ce forest plot nous présente les résultats de 2 études pour le critère de jugement du test de marche de 6 minutes.

La synthèse de ces études nous montre qu’a priori, l’intervention est moins efficace que la kinésithérapie conventionnelle. Toutefois, l’intervalle de confiance à 95% de l’effet global est large et croise la valeur nulle, nous forçant encore une fois à rester prudent quant à l’interprétation des résultats. D’autant que les résultats de ce forest plot ne sont pas statistiquement significatifs car  $p = 0,42 (> 0,05)$ .

On voit que les deux études affichent des résultats contraires avec des intervalles larges croisant la valeur nulle.

On peut aussi remarquer la valeur du test de I<sup>2</sup>, qui s’élève à 49%, indiquant une hétérogénéité modérée (pratiquement élevée).

### 3.4.2.3 TUG



**Figure 9 : Forest plot des données du Times Up and Go test, réalisé par l’auteur**

Ce forest plot nous présente les résultats de 2 études pour le critère de jugement du Timed Up and Go test. De par la nature du test, le score est noté en secondes et plus celui-ci est élevé, moins le patient est efficace, ainsi, les côtés des abscisses ont été échangés afin de correspondre.

D’après les résultats de ce forest plot, on ne peut pas trancher de l’efficacité ou non de l’intervention. Une fois encore, l’intervalle de confiance croise la valeur nulle et nous empêche d’objectiver la supériorité d’un traitement. D’après l’étude de Chang2018 [61] ainsi que de manière générale, il semblerait que l’efficacité penche du côté intervention, mais ce ne sont pas des résultats interprétables, d’autant plus que ces résultats ne sont pas significatifs car  $p = 0,45 (> 0,05)$ .

Enfin, on peut dire que l’hétérogénéité est forte avec un indicateur I<sup>2</sup> égal à 64%.

#### 3.4.2.4 WISC-II

Ce critère de jugement est évalué dans l'étude de Gil-Agudo2023 [63] et dans l'étude de Edwards2022 [62], mais ce dernier ne fait pas mention des résultats après le traitement dans son étude. Ainsi, nous n'avons que les résultats de Gil-Agudo2023 [63], présentés précédemment, et ne pouvons pas réaliser de méta-analyse.

## 4. Discussion

Dans cette partie, nous allons analyser les principaux résultats obtenus par rapport à l'hypothèse théorique de départ, ainsi que les risques de biais et l'hétérogénéité des études ou des populations.

L'hypothèse de départ est que la rééducation avec un exosquelette permettrait d'améliorer les capacités physiques à la marche chez les patients blessés médullaires par rapport à une rééducation dite classique (renforcement, étirements, travail en décharge, suspension)

### 4.1 Analyse des principaux résultats de la revue

#### 4.1.1 LEMS

##### - Chang2018 [61] :

Cette étude ne nous donne pas de résultats chiffrés concernant le critère de jugement de force musculaire. En effet, les résultats sont uniquement montrés sous forme d'un graphique imprécis, et de ce fait non interprétable quantitativement. On peut malgré cela commenter visuellement les dominantes d'évolution des scores LEMS chez les patients de ces groupes. Seuls 2 patients du groupe expérimental montrent une réelle évolution de score, et le reste des patients semble faiblement évoluer. De plus, le nombre de patients participants à l'étude est très faible ( $n=7$ ), entraînant irrémédiablement des biais ainsi qu'une imprécision des résultats.

##### - Gil-Agudo2023 [63] :

C'est donc la seule étude incluse présentant des résultats interprétables sur ce critère de jugement.

Ainsi, on peut relever que pour le groupe expérimental, la moyenne (et l'écart type) des résultats a augmenté 27,82 (11,09) à 32,27 (9,3) après l'intervention. De même pour le groupe contrôle, dont la moyenne (et l'écart type) est passée de 33,3 (7,63) à 36,3 (7,24).

La différence pré-post intervention est de 4,45 pour le groupe expérimental et 3 pour le groupe contrôle. On peut en déduire que l'intervention semble augmenter légèrement plus les valeurs du score de force que la kinésithérapie standard utilisée pour le groupe contrôle.

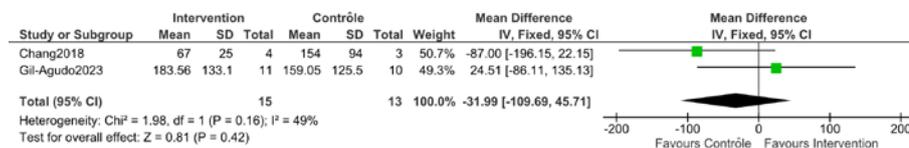
En termes de significativité statistique, l'intervalle de confiance de la taille d'effet (4,03 IC95 [-3,64 ; 11,70]) croise la valeur nulle (0). Cela nous permet objectivement de dire que le traitement n'est pas plus efficace que le placebo, même si la majorité de l'intervalle de confiance est positif. Néanmoins la valeur  $p$  est donnée ( $p < 0,05$ ), ce qui nous permet d'affirmer que les résultats obtenus sont statistiquement non significatifs.

On peut aussi remarquer que les scores des groupes interventions et contrôles sont légèrement différents, impliquant que l'homogénéité des groupes avant l'intervention n'est pas optimale.

On peut aussi souligner que le nombre de participants est certes plus important que dans l'étude précédente, avec  $n=21$ , mais cela reste un petit échantillon qui ne représente probablement pas réellement la population ciblée.

En résumé, pour le critère de jugement de la force motrice du membre inférieur, objectivée par le LEMS, on peut dire que l'exosquelette n'augmente pas significativement le score de force motrice. Il semblerait que l'évolution des scores tendent vers une amélioration plus probante avec l'utilisation de l'exosquelette comparé à une rééducation standard, mais ces études seules ne nous permettent pas de l'assurer.

#### 4.1.2 6MWT



**Figure 8 : Forest Plot des données du 6 Minutes Walking Test, réalisé par l'auteur**

##### - Chang2018 [61] :

Comme dit précédemment, cette étude n'offre pas de résultats statistiquement significatifs. Cependant, on peut relever que la distance moyenne au TM6 pour le groupe exosquelette a augmenté de 50 mètres avant l'intervention à 67 mètres après. Ce qui fait une augmentation de 17 mètres. L'auteur nous fournit aussi l'intervalle de confiance à 95% de cette amélioration qui est : [1,2 ; 32,5]. Par conséquent, l'amélioration de l'endurance de marche dans le groupe expérimental est statistiquement significative.

Comparativement, le groupe contrôle est passé de 147 mètres avant l'intervention à 154 mètres après, résultant d'une augmentation de seulement 7 mètres, avec un intervalle de confiance à 95% de [-9,23 ; 24,7]. Ainsi, on voit que l'amélioration de l'endurance de marche dans le groupe contrôle n'est pas statistiquement significative.

On se doit aussi de souligner la très grosse différence de valeurs entre les deux groupes au début de l'étude. En effet, les valeurs d'endurance du groupe expérimental étaient trois fois inférieures à celles du groupe contrôle (expérimental : 50m / contrôle 147m).

Le fait que les groupes ne soient pas homogènes en début d'étude implique des risques de biais importants quant aux résultats fournis et un score d'hétérogénéité de I<sup>2</sup> élevé (49%) en rassemblant les 2 études.

De plus, le nombre réduit de participants à cette étude nous mène à la conclusion que ces données ne sont pas interprétables et ne reflètent probablement pas correctement l'efficacité ou l'inefficacité du traitement sur la population ciblée.

##### - Gil-Agudo2023 [63] :

Les résultats de cette étude sont plus positifs quant à la possible efficacité d'un traitement avec exosquelette sur l'endurance des patients blessés médullaires. Même si la taille d'effet est positive (+24,51 mètres), l'intervalle de confiance à 95% reste large et croise la valeur 0. De plus, on peut voir que l'amélioration des scores est plus importante dans le groupe expérimental avec une moyenne

(écart-type) de 68,8 (67,6) comparé à 48,1 (48,6) pour le groupe contrôle. Il est important de préciser que ces valeurs sont statistiquement significatives ( $p < 0,05$ ) et que la différence entre les deux groupes, bien que non interprétable est elle aussi statistiquement significative ( $p = 0,03 < 0,05$ ).

Autrement dit, les résultats fournis par cette étude sur le critère de jugement de l'endurance sont exacts, mais ne permettent pas d'affirmer que la rééducation avec exosquelette est plus efficace que la rééducation standard.

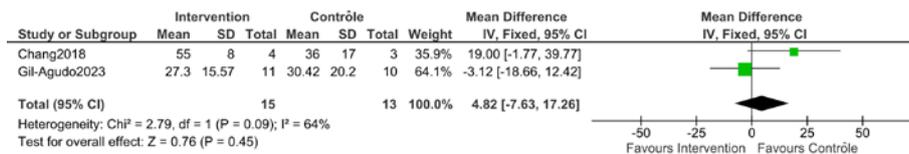
On peut noter aussi que les groupes sont relativement homogènes au début de l'étude malgré le faible nombre de participants ( $n=21$ ). En effet, ils présentent des valeurs similaires (expérimental : 114,67m / contrôle 110,95m).

- **Edwards 2020 [62] :**

Les résultats de cette étude nous montrent que la distance médiane parcourue par le groupe intervention est plus importante (538 feet) que celle parcourue par les groupes contrôles actifs (CA) et passifs (CP) (respectivement 346,6 feet et 320 feet). De plus, il est indiqué que l'amélioration entre les examens pré et post-intervention est de 34% pour le groupe intervention, 28% pour le groupe CA et 18% pour le groupe CP. Avec ces seules données, il semblerait que l'utilisation de l'exosquelette de rééducation améliore l'endurance au 6MWT chez les patients victimes d'une lésion médullaire incomplète. Néanmoins, les données fournies ne sont pas statistiquement significatives ( $p > 0,05$ ).

En résumé, pour le critère de l'endurance à la marche, objectivé par le test de marche de 6 minutes (6MWT), nous ne pouvons pas conclure de l'augmentation de l'endurance des patients rééduqués avec l'exosquelette. Ainsi, même s'il semblerait que l'effet soit plus positif que neutre, il nous est impossible sur la base de ces 3 études d'affirmer l'efficacité et ou l'inefficacité de l'intervention comparé aux rééducations standards.

4.1.3 TUG



**Figure 9 : Forest plot des données du Times Up and Go test, réalisé par l'auteur**

- **Chang2018 [61] :**

On peut relever que le temps moyen de réalisation du test du Timed Up and Go s'est amélioré chez le groupe intervention, passant de 71 secondes avant l'intervention à 55 secondes après. Cela représente une différence moyenne de 15,4 secondes, avec un intervalle de confiance à 95% de [-47,5 ; 16,6] fournis par l'auteur. En revanche, ces changements ne sont pas statistiquement significatifs et l'intervalle de confiance croise la valeur nulle, impliquant que les résultats ne montrent pas la supériorité de l'intervention ou du contrôle.

Comparativement, le groupe contrôle n'a évolué que d'une seconde entre les deux tests, avec une réalisation en 37 secondes au début de l'étude et en 36 secondes à la fin de celle-ci. Néanmoins,

l'intervalle de confiance estimé est de [-2,6 ; -0,6], exprimant une réduction du temps de réalisation du test dans 95% des cas. Ce résultat est quant à lui statistiquement significatif.

Il faut tout de même rappeler que les valeurs du groupe expérimental étaient largement supérieures à celles du groupe contrôle avec une très grosse différence en termes de rapidité d'exécution de la tâche demandée entre les deux groupes (expérimental : 71 secondes / contrôle 37 secondes). Cela a pu biaiser les résultats et montre une hétérogénéité des groupes de l'étude avant l'intervention.

- **Gil-Agudo2023 [63] :**

Dans cette étude, les temps de réalisation des TUG test ont diminués dans les deux groupes. Celui-ci était de 40,50 secondes en moyenne au départ dans le groupe expérimental et de 27,3 secondes après l'intervention. Cela correspond à une différence de 13,23 secondes avec un écart type de 7,71, et cette différence est statistiquement significative ( $p = 0,0001 < 0,05$ ).

Le groupe contrôle est passé de 37,37 secondes en moyenne de réalisation au départ à 30,42 secondes après l'intervention, correspondant à une diminution de 6,9 secondes avec un écart type de 7,22. Ici encore, la différence est statistiquement significative avec une valeur de  $p = 0,01 < 0,05$

On peut relever que les valeurs de réalisation du test dans chacun des groupes au début de l'étude sont plutôt similaires (expérimental : 27,3 secondes / contrôle 30,42 secondes), permettant d'assurer une homogénéité. Cela même si le faible nombre de participants impacte la représentativité de la population ciblée.

- **Edwards 2020 [62] :**

Les résultats de cette étude sont présentés sous forme de médianes et de quartiles, néanmoins, il nous montre que le temps médian de réalisation du TUG test est plus court (26,4 secondes) que celui des groupes contrôles actifs (CA) et passifs (CP) (respectivement 30 et 46 secondes).

Cependant, les pourcentages d'amélioration sont similaires entre les trois groupes, avec 18,7%, 19,9% et 12,7% d'amélioration pour respectivement le groupe intervention, CA et CP. Cela semble indiquer que les valeurs du test au début de l'étude n'étaient pas similaires entre les différents groupes. De plus, avec ces seules données, on peut déduire que la rééducation avec l'exosquelette n'a pas plus augmenté les capacités des sujets à réaliser le TUG que le groupe CA. Enfin, l'auteur précise que ces données ne sont pas statistiquement significatives.

En résumé, pour le critère de la mobilité fonctionnelle, exprimé par le temps de réalisation du TUG, les résultats de ces études semblent indiquer que l'intervention a un effet plus positif que négatif. Néanmoins, ces résultats ne sont pas significatifs et ne nous permettent pas, sur la base de ces 3 études seules, d'attester l'efficacité ou l'inefficacité de l'intervention comparé à une rééducation standard.

#### 4.1.4 WISCI-II

- **Edwards 2020 [62] :**

Dans cette étude, il est annoncé dans la partie méthode qu'un des critères de jugement secondaire est le WISCI-II afin d'apprécier le besoin d'aide technique ou humaine. L'article nous fait part des scores des patients au début de l'étude pour ce critère de jugement.

En revanche, une fois les valeurs de base énoncées, l'étude ne fait plus mention de l'échelle WISCI-II. Elle n'expose à aucun moment les résultats trouvés pour ce critère, que ce soit sous forme de tableau, de graphique ou même de texte brut.

Ainsi, il nous est donc impossible de répondre à la question initiale avec cette étude.

- **Gil-Agudo2023 [63] :**

On peut noter que la moyenne (et l'écart-type) des résultats du groupe intervention a augmenté de 8,36 (3,79) à 11,64 (4,33), ce qui représente une différence de 3,28. L'article nous informe aussi que cette amélioration est statistiquement significative avec une valeur de  $p < 0,0001$ .

Pour le groupe contrôle, la moyenne (et l'écart type) est passé de 11,7 (3,8) à 12,4 (4,45), ce qui équivaut à une augmentation plus légère de 0,7. Cependant, cette augmentation n'est pas statistiquement significative, affichant une valeur de  $p = 0,285 (> 0,05)$ .

La différence pré-post intervention est de 3,28 pour le groupe expérimental et 0,7 pour le groupe contrôle, et les résultats du groupe intervention sont significatifs comparés à ceux du groupe contrôle. On peut donc en déduire que l'intervention semble augmenter légèrement plus les valeurs du score de WISCI-II que la kinésithérapie standard utilisée pour le groupe contrôle.

Néanmoins, la taille d'effet que nous avons calculé était faible avec un intervalle de confiance croisant la valeur nulle (0,76 IC95 [-3,25 ; 4,77]) et une valeur  $p < 0,05$  exprimant des résultats statistiquement significatifs. Cela nous force donc à être prudent sur l'interprétation des résultats.

On peut toutefois remarquer que les moyennes de base du score WISCI-II n'étaient pas similaires dans les 2 groupes, pouvant avoir un effet sur la discordance des résultats trouvés.

En résumé, pour le critère de jugement de l'autonomie de marche, apprécié par l'échelle WISCI-II, on peut estimer que l'intervention a un effet légèrement positif mais nous n'avons pas assez de pertinence de résultat pour l'affirmer. Nous ne pouvons pas conclure, en s'appuyant uniquement sur une étude, de l'efficacité de l'intervention au regard de ce critère de jugement.

#### 4.1.5 Limites des études incluses

- **Chang2018 [61] :**

En se basant sur l'échelle d'estimation du risque de biais des essais cliniques randomisés en kinésithérapie PEDro, cette étude présente un score de 4/10. Ce score n'est pas bon, impliquant que l'étude présente un certain nombre de biais.

Nous avons décrit dans l'analyse des biais que cette étude présentait :

- Un biais de **selection**, du fait des différences importantes entre les groupes au début de l'intervention au regard des critères de jugement étudiés,
- Un biais **d'évaluation** du fait de l'impossibilité de mettre en aveugle les patients et les praticiens durant la rééducation,
- Un biais de **suivis** car elle dénombre moins de 85% des patients inclus au départ qui ont terminé l'étude,
- Un biais **d'attrition** car les sujets perdus de vue n'ont pas été inclus dans les résultats et n'ont pas été recensés en intention de traiter,
- Un biais de **mesure** car elle ne présente pas de résultats comparatifs inter-groupe, seulement des résultats intra-groupe.

On peut rajouter à ces biais les limites concernant la faible quantité de patients inclus, qui majore le biais de suivis. En effet cette étude n'inclue que 9 patients au début, et seulement 7 dont les résultats sont donnés. Cette petite population ternit la valeur des résultats car elle manque de représentativité au regard de la population ciblée. De plus, les différences de valeurs de base avant l'intervention entre les groupes engendrent un taux d'hétérogénéité fort dans les analyses entre les articles.

Néanmoins l'auteur de l'article explique que les différences de niveau au départ pourraient être dues aux différences de gravité de lésion entre les patients. Selon ses dires, il serait intéressant de réaliser une étude dans laquelle les patients sont préalablement classés selon leur niveau fonctionnel. Ensuite, avec un processus de randomisation, les patients seraient affiliés à un groupe intervention et un groupe contrôle par niveau fonctionnel. Cela permettrait de mettre en valeur l'efficacité de l'intervention selon la gravité de la lésion et le niveau fonctionnel et donc de prendre en compte les différents pronostics de récupération. Ce type d'étude permettrait de visualiser selon les capacités de base du sujet quelle serait l'efficacité de la rééducation avec l'exosquelette.

On peut noter que l'impossibilité de mise en place d'un essai en double-aveugle (dans lequel les patients et les kinésithérapeutes seraient en aveugle et donc non conscient du groupe auquel ils appartiennent) implique la possibilité de biais dans les résultats par effet placebo par exemple. Nous décrivons les différents effets impactant les résultats après avoir vu les limites.

Il est important de relever que la présentation des résultats sous forme de graphiques imprécis empêche la bonne interprétation des valeurs pour le critère de jugement de force musculaire (LEMS). De plus, la majorité des résultats présentés par l'auteur ne sont pas statistiquement significatifs avec une valeur de  $p > 0,05$  et un intervalle de confiance croisant la valeur 0. Cela implique qu'une partie des résultats trouvés peuvent être dûs simplement au hasard et cela peut démontrer un problème dans la réalisation de l'étude. En revanche, il est bon de noter que le protocole de réalisation de l'étude a été enregistré dans le registre de protocole plusieurs mois avant la réalisation de l'étude.

L'auteur explique aussi que la durée de l'étude est un peu courte pour voir apparaître de réelles améliorations dans les critères de jugements. En effet, d'autres études ont montré que l'amélioration des résultats au 6MWT et au TUG a été significative à partir de la 4<sup>ème</sup> semaine jusqu'au 4<sup>ème</sup> mois. Ici, l'intervention n'a duré que 3 semaines, ce qui semble un peu court pour que les premiers progrès se manifestent. [69] [70]

On peut noter que l'article a reçu un financement partiel de la fondation TIRR qui est une fondation qui aide la recherche et qui cherche à améliorer la qualité de vie et l'état de santé des personnes ayant subi une lésion médullaire ou cérébrale. Cette fondation travaille sur des prototypes d'exosquelette mais rien dans l'article ne semble montrer que ces exosquelettes ont été utilisés pour l'étude. Néanmoins, certains chercheurs participant au développement de ces exosquelettes ont participé à la réalisation de cette étude.

En résumant toutes les limites de cet article, il nous reste assez peu d'informations fiables et tangibles à interpréter pour répondre à notre questionnement clinique. Néanmoins il est important de rappeler que l'auteur de l'article a évalué d'autres critères de jugement qui ne sont pas inclus dans notre revue mais qui pourraient avoir un intérêt et une importance statistique sur le sujet.

- **Edwards 2020 [62] :**

Pour passer en revue les limites de l'article, nous allons rappeler les biais méthodologiques estimés précédemment grâce à l'échelle PEDro, cette étude présente donc un score de 6/10. Ce score est moyen, impliquant que l'étude présente certains biais.

Nous avons décrit dans l'analyse des biais que cette étude présentait :

- Un biais **d'évaluation** du fait de l'impossibilité de mettre en aveugle les patients et les praticiens durant la rééducation,
- Un biais de **suivis** car elle dénombre moins de 85% des patients inclus au départ qui ont terminés l'étude.
- Un biais **d'attrition** car les sujets perdus de vue n'ont pas été inclus dans les résultats et n'ont pas été recensés en intention de traiter.

Dans cette étude, au contraire des autres, le nombre de patients est assez grand pour permettre de détecter un bénéfice dans l'utilisation de l'exosquelette pour la rééducation à la marche.

Comme pour le premier article, l'impossibilité de mettre en aveugle les sujets et les kinésithérapeutes vis-à-vis des groupes de l'étude entraîne l'apparition d'effet influençant la récupération des patients. Ces effets seront décrits plus bas.

On souligne aussi la présentation des résultats de cette étude qui se fait sous forme de médianes et de quartiles. Ce mode de présentation est plus précis pour décrire des listes de valeurs dont la distribution est asymétrique et qui peuvent contenir des valeurs aberrantes. Il n'est toutefois pas toujours adapté pour les études thérapeutiques. En effet, il est moins probable d'avoir des valeurs aberrantes dans notre cas de recherche car les critères d'inclusion et d'exclusion sont bien précisés, ce qui restreint correctement la possibilité d'avoir des patients « trop avancés » dans leur rééducation. De plus, la médiane ne permet pas de réaliser des comparaisons entre les études sous forme de forest-plots par exemple qui sont souvent utilisés pour synthétiser les résultats sur l'effet d'un traitement. En outre, les résultats qui sont présentés ne sont pas statistiquement significatifs, ce qui rend l'interprétation de ceux-ci compliquée.

Un autre point important est que l'étude précise dans sa méthode l'utilisation d'échelles comme la WISCI-II pour évaluer l'autonomie à la marche. On peut retrouver un tableau récapitulatif des patients avec leurs scores à de nombreuses échelles (dont la WISCI-II) au début de l'étude, avant l'intervention. En revanche, l'article ne mentionne plus l'échelle ni aucun résultat lié à celle-ci après ce tableau. Nous n'avons pas de données relatives à de possibles résultats de cotation des patients avec cette échelle après l'intervention.

De plus, l'étude ne précise pas l'enregistrement du protocole d'étude avant la réalisation de celle-ci, ce qui peut souligner la possibilité d'un biais d'analyse et de sélection. La publication du protocole d'étude permet de garantir la transparence, la reproductibilité et l'intégrité de l'étude.

On doit relever que cette étude a été entièrement financée par l'entreprise Ekso Bionics Ltd, commercialisant l'exosquelette Ekso NR<sup>®</sup> qui a été utilisé pendant cette étude. Ainsi, les résultats et la conclusion de l'auteur peuvent être influencés, entraînant un spin<sup>19</sup>.

En résumé, l'article offre des résultats intéressants mais sous la forme de médianes et de quartiles qui sont difficiles à interpréter en corrélation avec d'autres articles et qui ne sont pas statistiquement significatifs. Celui-ci présente une méthodologie correcte qui présente tout de même quelques biais et limites. Il est donc difficile de se baser sur les résultats de cette étude pour tirer une conclusion répondant à la question de recherche. Il est toutefois important de rappeler que l'article traite d'autres critères de jugement en plus de ceux concernés par cette revue. Ces critères, qui n'ont pas été analysés pour la rédaction de la revue, peuvent contenir des informations intéressantes sur le sujet de la rééducation avec exosquelette.

- **Gil-Agudo2023 [63]** :

Enfin, ce dernier article présente, selon l'échelle PEDro, un meilleur score de qualité méthodologique avec une note de 7/10.

Nous avons décrit dans l'analyse des biais que cette étude présentait :

- Un biais **d'évaluation** du fait de l'impossibilité de mettre en aveugle les patients et les praticiens durant la rééducation,
- Un biais **d'attrition** car les sujets perdus de vue n'ont pas été inclus dans les résultats et n'ont pas été recensés en intention de traiter.

Encore une fois, nous rappelons que l'étude se base sur un échantillon de seulement 21 patients, ce qui n'est pas représentatif de la population cible. Néanmoins, cette étude fait preuve d'un meilleur suivi que les deux autres et propose des groupes relativement homogènes par rapport aux critères de jugement sélectionnés en amont. De plus, le protocole d'étude était enregistré sur le registre de protocole avant la réalisation de l'étude.

Comme pour les deux études précédentes, l'impossibilité de mettre les sujets et les thérapeutes en aveugle entraîne des effets potentiels comme l'effet placebo, influant sur les résultats.

L'auteur décrit comme limite de l'étude le fait de ne pas avoir adapté la force de l'assistance et la force nécessaire pour enclencher le pas à chaque patient mais d'avoir programmé une valeur de base, identique pour tous. Cela impacte le fait que certains patients avec potentiellement une force plus faible au début de l'étude ont pu être freinés dans leur récupération de par la fatigue occasionnée pour l'activation de l'exosquelette. Néanmoins, cet impact ne peut pas être chiffré et fait partie des limites liées à l'utilisation d'une technologie récente comme l'exosquelette pour laquelle il existe un réel manque de recul et un manque de connaissance sur les réglages à utiliser.

On peut relever que cette étude a été financée par l'institut de la santé Carlos III en Espagne, par le FEDER (Fond Européen de Développement Régional) et par le ministère de sciences espagnol. Ces financements publics ne semblent pas avoir de lien avec des entreprises d'exosquelette.

En résumé, cette étude a été réalisée avec une bonne qualité méthodologique. Elle propose des résultats pertinents et statistiquement significatifs sur lesquels on peut s'appuyer afin de répondre à notre question. Elle fait preuve d'assez peu de biais et de limites.

---

<sup>19</sup> Aussi appelé interprétation abusive, c'est la formulation des résultats exagérant la partie positive dans le but de présenter les résultats de manière favorable.

#### 4.1.6 Différents effets impactant l'amélioration du patient

Le cerveau humain est un organe très complexe dont on ne comprend qu'une infime partie du fonctionnement. Celui-ci possède des capacités importantes d'influence sur le corps (système somatique) selon les informations perçues et l'état psychologique de la personne. On sait de nos jours l'impact positif ou négatif de l'entourage ou de la musique sur les humeurs, la volonté ou la motivation d'une personne. Ainsi, il est important de prendre en compte le facteur humain dans les études et les essais cliniques.

Il existe un certain nombre de facteurs extérieurs qui peuvent influencer sur l'amélioration d'une condition et donc d'un résultat au cours d'une étude clinique. Parmi ceux-ci, on va séparer les facteurs intrinsèques, propres à chaque patient, et les facteurs généraux.

##### 4.1.6.1 Facteurs intrinsèques propres à chaque patient

###### - Evolution naturelle de la maladie :

Cette évolution est propre à chaque pathologie mais aussi propre à chaque patient. Deux patients avec la même pathologie vont évoluer différemment en fonction de leur contexte de vie, de leur contexte psycho-social, et de leurs caractéristiques propres. Les lésions médullaires évoluent sur plusieurs mois, ainsi, les patients présents dans nos études vont être à différents stades de récupération. Il est possible, notamment pour les patients en période aiguë (<6 mois) qu'une partie de l'amélioration objectivée par les résultats soit simplement due à l'évolution naturelle de la pathologie.

###### - Effet de l'expérience et attentes du patient :

C'est l'effet expliquant que des personnes ayant de l'expérience dans un domaine sont plus à même d'être performant dans ce domaine, il est aussi appelé effet de l'expertise. Néanmoins, il peut s'appliquer à la recherche clinique si l'étude inclut des patients qui ont déjà participé à d'autres études. En effet, ceux-ci peuvent avoir des attentes plus élevées par rapport à l'intervention. Dans le cadre du groupe expérimental, les patients qui sont conscients qu'ils reçoivent un traitement expérimental pourront être plus attentifs à leur état de santé, à leurs progrès et aux effets secondaires que dans un autre cadre de soins. Ainsi, il est important d'essayer de minimiser cet effet pour éviter d'influencer les performances par les attentes du patient.

###### - L'effet d'Ancre :

C'est un phénomène de biais cognitif qui se produit lorsque la première information donnée à une personne sur un sujet influence de manière importante son jugement et ses décisions futures sur le sujet en question. Dans le cadre des essais, il est présent si les patients sont informés de l'efficacité d'un traitement en amont de l'étude. Ces patients sont plus susceptibles de présenter une amélioration qui ne sera pas nécessairement causée par le traitement en lui-même. Ainsi, dans notre cas, si les patients des groupes expérimentaux ont reçu comme première information l'efficacité supposée de l'exosquelette, ils seront plus susceptibles d'avoir de meilleurs résultats.

Cet effet fonctionne de manière positive et de manière négative.

#### 4.1.6.2 Facteurs généraux impactant l'évolution d'une condition

- **L'effet Placebo :**

C'est le phénomène décrivant la possibilité qu'un traitement sans principe actif réel ou sans action réelle peut produire un effet bénéfique sur la personne si celle-ci a des attentes positives envers le traitement. Dans notre cas, les personnes jouissant de la rééducation avec l'exosquelette auront, de par l'effet placebo, une potentielle meilleure amélioration de leurs capacités.

- **L'effet Nocebo :**

C'est l'effet inverse de l'effet placebo, dans lequel une personne va avoir une réponse négative à un traitement sans principe actif réel ou action réelle à cause des attentes négatives de celle-ci. Cet effet est plus compliqué à transposer dans notre cas, car les patients qui auraient des attentes négatives vis-à-vis de l'exosquelette n'auraient simplement pas participé à l'étude. Il est plus fréquemment observé dans les études médicamenteuses.

- **L'effet Hawthorne :**

Il est aussi appelé effet observateur. C'est le phénomène qui décrit que le comportement et/ou la performance des individus peut être modifié de par la modification de leur environnement ou de l'attention qui leur est portée. Il peut être présent quand des patients participants à une étude vont, de par la participation à l'étude et l'administration au traitement, modifier leur comportement et donc influencer sur leurs performances. Dans notre revue, les patients du groupes exosquelettes sont plus sujets à développer l'effet Hawthorne de par la participation à une étude et l'utilisation de technologie de pointe.

- **L'effet Pygmalion :**

Aussi connu sous le nom d'effet Rosenthal, l'effet Pygmalion est le phénomène psychologique dans lequel les attentes et les croyances d'une personne A, en regard d'une personne B peuvent influencer le comportement et les performances de la personne B. Dans notre cas, si un thérapeute est plus optimiste ou plus confiant avec un patient plutôt qu'avec un autre, le premier est plus susceptible d'avoir de meilleurs résultats ou une meilleure récupération que le deuxième.

Il faut néanmoins faire attention car cet effet peut avoir un impact négatif si les attentes ou les croyances sont négatives.

- **Effet de cohorte :**

L'effet de cohorte ou effet générationnel désigne la tendance des personnes d'un même groupe (cohorte) ou d'une même génération à présenter des caractéristiques, des attitudes et des comportements similaires. Dans notre cas, si les groupes sont trop homogènes en termes de génération, il peut en découler un biais relevant des attitudes de cette génération. C'est pour cela que les groupes doivent être randomisés mais aussi être homogène tant sur les critères de jugement, sur les capacités, que sur des critères de profils (âge, contexte social, ethnies...).

- **L'erreur de Mesure :**

C'est un problème causé par des erreurs de calculs, une imprécision des instruments de mesure ou bien des erreurs de l'opérateur. Elle exprime une différence entre les résultats réels de l'intervention et les résultats observés.

Ainsi, ces différents effets peuvent être présents dans chacun des groupes et influencer les résultats des différents critères de jugement étudiés. Ils peuvent être plus ou moins présents selon la méthodologie de l'étude ou la qualité de réalisation de celle-ci. Il est donc important de tenir compte de leur puissance et de nuancer l'interprétation des résultats trouvés en fonction de ceux-ci.

#### 4.1.7 Conclusion des résultats par rapport aux limites

Comme vu précédemment, il faut prendre en compte ces potentiels effets dans l'interprétation des résultats d'une intervention. Ainsi, on peut dire que nos résultats, qui sont issus d'études ne proposant pas une méthodologie sans faille ont des risques modérés de présenter certains effets cités au-dessus.

En résumé, on peut dire que les articles inclus présentent une méthodologie de qualité moyenne à bonne. Ceux-ci offrent des résultats moyens, peu souvent significatifs avec potentiellement des facteurs influant l'interprétation des résultats. De plus, nos résultats ne sont pas catégoriquement positifs en faveur de l'intervention, ce qui implique qu'en prenant en compte ces facteurs, l'effet réel de l'intervention est supposément faible voire inexistant.

Il est donc important que les futures études sur le sujet soient réalisées avec une méthodologie la plus qualitative possible afin de minimiser les biais et les effets perturbant l'interprétation des résultats. Ceci dans le but de pouvoir conclure, sur la base de données statistiques et scientifiques l'efficacité ou non de l'intervention dans le contexte de rééducation à la marche des patients victimes de lésions médullaires incomplètes.

## 4.2 **Qualité des preuves de la revue**

Afin d'estimer la qualité des preuves de la revue, nous allons nous baser sur le système GRADE (Grading of Recommendations Assessments, Development and Evaluation). Bien qu'il existe d'autres échelles, comme l'échelle de qualité de preuve du HAS, l'« Australian National Health and Medical Research Council » (2000) ou l'« Oxford Centre for Evidence-based Medicine » (1998). Néanmoins, le système GRADE est le plus utilisé pour les revues systématiques en kinésithérapie. [71] [72] [73]

Elle se base sur les caractéristiques des différentes études, avec 5 critères principaux que sont :

- La conception de l'étude
- La qualité des données (moyennes, intervalles de confiance à 95%)
- La cohérence des résultats
- La pertinence des résultats
- La précision des mesures

A partir de ces critères, on va pouvoir baisser le niveau de preuve en fonction des risques de biais, de l'hétérogénéité et de l'incohérence des résultats afin d'atteindre un niveau de preuve sur 4 :

- Elevée (4/4)
- Modéré (3/4)
- Faible (2/4)
- Très faible (1/4)

Ainsi, la création de ce tableau réalisé avec l'outil GRADEPro nous permet d'avoir une estimation du niveau de preuve pour chacun des critères de jugements, en se servant des données utilisées pour la gestion des études sur Review Manager (RevMan 5).

*Tableau XIV : Niveau de preuve du système GRADE, réalisé par l'auteur sur le logiciel GRADEpro*

Outcome	Anticipated absolute effects* (95% CI)	Relative effect (95% CI)	N° of participants (studies)	Certainty of the evidence (GRADE)
	Risk with mobile exoskeleton			
Lower Extremity Motor Scale (LEMS) Scale from: 0 to 50	MD <b>3.93 pts lower</b> (10.64 lower to 2.69 higher)	-	28 (2 RCTs)	⊕⊕○○ Low
6 Minutes Walking Test (6MWT)	MD <b>31.99 m lower</b> (109.69 lower to 45.71 higher)	-	28 (2 RCTs)	⊕⊕○○ Low
Timed Up and Go test (TUG )	MD <b>4.82 s higher</b> (7.63 lower to 17.26 higher)	-	28 (2 RCTs)	⊕⊕○○ Low
Walking Index for Spinal Cord Injury II (WISCI-II) Scale from: 0 to 21	MD <b>3.28 level higher</b> (6.9 lower to 0.34 higher)	-	21 (1 RCT)	⊕⊕⊕○ Moderate

MD : Mean Difference, RCTs : Randomized Controlled Trials

Les 3 études incluses sont des essais cliniques randomisés, avec donc un fort niveau de preuve. Néanmoins, du fait des différents biais, de l'hétérogénéité ainsi que du manque de données, les niveaux de preuves ont été diminués. Ainsi, on observe un niveau de preuve faible pour les critères de jugement LEMS, 6MWT et TUG et un niveau de preuve modéré pour le WISCI-II.

Ainsi pour augmenter le niveau et la qualité des preuves de la revue, il faudrait inclure des articles avec une meilleure qualité méthodologique, des résultats plus cohérents et plus pertinents, avec moins

d'hétérogénéité, permettant d'obtenir un meilleur niveau de qualité de preuve. Celui-ci étant important afin d'afficher clairement si les résultats de chaque critère de jugement sont interprétables et utilisables dans la pratique clinique.

### **4.3 Applicabilité des résultats en pratique clinique**

En premier lieu, les résultats obtenus dans cette revue tendent à montrer que l'effet de la rééducation avec exosquelette sur la marche des blessés médullaires est peu voire pas plus efficace que la rééducation standard. Néanmoins, ces résultats se basent sur de petits et très précis échantillons de patients, avec de nombreux critères d'inclusions et d'exclusions (chronicité, pathologies associées etc...). En pratique clinique, on ne choisit pas ce type de critères chez nos patients, ainsi la corrélation des résultats avec la pratique sur ce point est assez compliquée.

Secondairement, il faut prendre en compte que ces dispositifs sont des innovations en pleine expansion. Cela signifie que ce matériel de pointe a un coût élevé (entre 40 000 et 200 000 €) et qu'il n'est donc accessible qu'à de grosses structures (type cliniques privées) avec des financements extérieurs. Cela réduit donc grandement la possibilité d'utilisation de cette technologie en limitant les cabinets libéraux qui ne pourront pas se permettre de dépenser une telle somme. En revanche, ces technologies sont en constante évolution et la multiplication des constructeurs sur le marché, en permettant des recherches importantes, entraîne de constantes améliorations et adaptations des exosquelettes.

Troisièmement, le fait que ce dispositif ne provoque que très peu d'effets secondaires est un point très positif. En effet, les études n'ont relevé que quelques rougeurs et une douleur articulaire. Ainsi, avec des professionnels formés à l'utilisation de la machine et à la surveillance de ces différents points de pression, on réduit drastiquement les risques de complications graves. De plus, avec une bonne éducation thérapeutique des patients à qui on explique le traitement, le fonctionnement de l'exosquelette et ce qu'ils doivent surveiller après la séance, on crée de bonnes conditions d'utilisation et les risques pour le patient sont infimes.

Quatrièmement, il est important de relever les contraintes qu'impose cet équipement sur les patients et sur les thérapeutes. En effet, ce matériel de pointe est encombrant, nécessite des réglages précis et une attention particulière à l'habillage qui devient chronophage que ce soit pour mettre et enlever le dispositif. Selon les modèles, il faut compter une vingtaine de minutes pour enlever et mettre l'exosquelette ce qui est une charge lourde pour le patient et pour le thérapeute. De plus, il est nécessaire que le kinésithérapeute formé par l'entreprise soit présent pendant la séance, ce qui peut compliquer la prise en charge si celui-ci ne peut pas être présent (formations, congés, maladie).

Cinquièmement, même si les effets influant sur les résultats sont à éviter d'un point de vue recherche scientifique et statistique, en pratique, ils sont importants à utiliser. En effet, dans la recherche, on veut isoler l'effet réel du traitement, mais en clinique, tous les effets qui permettraient une meilleure récupération du patient peuvent être utilisés. Par exemple, l'effet Placebo, l'effet Pygmalion et l'effet de l'expérience et des attentes du patient sont des effets qui auront un impact positif sur la rééducation avec l'exosquelette. Il est intéressant de s'en servir pour maximiser les chances de récupération du patient.

On peut conclure que ces dispositifs ont un grand nombre de contraintes techniques et humaines à prendre en compte dans la prise en charge, mais que si on dispose de cet outil de rééducation, il n'est ni dangereux ni contreproductif si utilisé dans de bonnes conditions.

#### 4.4 Biais potentiels de la revue

Pour cette partie, nous allons nous appuyer sur la grille AMSTAR 2 qui permet d'évaluer la qualité méthodologique des revues de littérature et des méta-analyses et d'apprécier la qualité de la revue. [74]

Elle est divisée en 3 parties et comprend au total 16 items. La première partie apprécie la conception de la revue, la deuxième partie traite de la collecte et de la sélection des données et la dernière évalue l'analyse et la présentation des résultats.

Selon la validité de chaque item, l'évaluateur a le choix entre 4 cotations que sont :

- Oui
- Partiellement
- Non
- Non applicable

La somme des cotations de ces 16 items nous permet d'avoir une note globale de la qualité méthodologique de la revue.

La grille entière remplie est disponible en annexe (voir annexe 8.15).

*Tableau XV : Récapitulatif des items de la grille AMSTAR 2 et commentaires, réalisé par l'auteur*

Item N°	Cotation	Commentaires
Item 1	Oui	Partie 2.2.1 Equation de recherche
Item 2	Non	Cette revue s'inscrit dans le cadre de la rédaction d'un mémoire de fin d'étude, de ce fait, la méthodologie de rédaction n'a pas été publiée à l'avance.
Item 3	Oui	Partie 2.1.1 Schéma d'étude
Item 4	Partiellement	La stratégie de recherche n'a pas inclus la recherche dans la littérature grise, le registre de protocole, ni la prise de contact avec des auteurs ou experts sur le sujet.
Item 5	Non	Dans le cadre de la rédaction de cette revue de littérature, l'auteur a été le seul à réaliser la recherche, l'étude et la rédaction de ce mémoire de fin d'étude.
Item 6	Non	Dans le cadre de la rédaction de cette revue de littérature, l'auteur a été le seul à réaliser la recherche, l'étude et la rédaction de ce mémoire de fin d'étude.
Item 7	Oui	Annexe 8.6
Item 8	Partiellement	Un tableau descriptif des données de chacune des études est disponible en annexe 8.7. Néanmoins, ce tableau ne présente pas les détails des patients (caractéristiques de chacun des critères au début de l'étude), des paramètres des études, ni les délais de suivis.
Item 9	Oui	Partie 3.2 Risque de biais des études incluses

Item 10	Oui	<i>Partie 4.1.5 Limites des études incluses</i>
Item 11	Oui	<i>Partie 3.4.2 Méta-Analyse</i>
Item 12	Non	Les risques de biais de chacune des études n'ont pas été inclus dans les forest-plot de la méta-analyse ni décrits dans le paragraphe expliquant ces résultats. En revanche, ils ont été expliqués dans la partie discussion.
Item 13	Oui	<i>Partie 4.1 Analyse des différents résultats de la revue</i>
Item 14	Oui	<i>Partie 4.1.5 Limites des études incluses</i>
Item 15	Non	L'auteur n'a pas fait de recherche scientifique ni de tests statistiques pour éliminer le biais de publication de la méta-analyse.
Item 16	Oui	<i>Partie 4.5 Conflits d'intérêt</i>

Il est important de rappeler que cette revue a été réalisée dans le cadre d'un mémoire de fin d'études et que l'auteur de cette revue n'a aucune expérience dans la réalisation de travail de recherche. De ce fait, la méthodologie et la qualité interne de la revue ne sont pas optimaux.

#### 4.5 Conflits d'intérêt

Dans son article Chang2018 [61] déclare ne pas avoir de conflit d'intérêt. En revanche, Edwards2020 [62] et Gil-Agudo2032 [63] ont exprimés des conflits d'intérêt.

En effet, le premier indique que deux de ses co-auteurs sont affiliés à la compagnie Ekso Bionics (commercialisant l'exosquelette Ekso NR®) mais qu'ils n'ont pas interagis avec la récupération et l'analyse des données. Pour Gil-Agudo2032 [63], il indique que lui-même et 2 co-auteurs sont des membres fondateurs de la société Gogo Mobility Robots (commercialisant l'exosquelette HANK®).

Je déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt en ce qui concerne la recherche scientifique ou la publication de cette revue de littérature. De plus, aucun financement n'a été nécessaire dans la rédaction de cette revue de littérature.

## **5. Conclusion**

Nous avons choisi ce sujet de par la proximité apportée par l'apprentissage dans une structure de rééducation neurologique possédant un exosquelette. En effet, cet outil est relativement apprécié des patients et des thérapeutes et semble avoir un effet sur leur capacité de marche.

C'est de par ce postulat que nous avons cherché à réaliser une revue de littérature afin de synthétiser les informations scientifiques sur le sujet et de déterminer si la rééducation avec exosquelette offre statistiquement un intérêt dans la récupération des capacités de marche chez le patient victime d'une lésion médullaire incomplète.

A travers le travail de recherche d'articles scientifiques précis sur un sujet et la réalisation de cette revue de littérature, nous avons pu améliorer nos capacités de recherche scientifiques et d'analyse.

Il est important de se tenir informé des données actuelles de la science sur les différents outils de rééducation à notre disposition et de nuancer ces données purement statistiques avec notre expérience tout en l'adaptant à notre patient, à son contexte de vie et à son expérience. Ceci représente le socle de la démarche d'« Evidence Based Practice » (EBP) dans lequel s'inscrit la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Cette revue a permis de mettre en évidence le nombre restreint d'articles étudiant le sujet ainsi que leur faible qualité méthodologique. Le nombre limité de sujets volontaires pour les études correspondants aux critères d'inclusion et d'exclusion de celles-ci entraîne des hétérogénéités dans les échantillons des études. L'impossibilité de réalisation d'une étude en double aveugle et la difficulté éthique de privation de traitement d'un patient dans le cadre d'une étude rendent complexe la mise en place d'études exploitables. Ces éléments, une fois associés permettent d'expliquer la disparité des résultats trouvés dans les différentes études et le faible niveau de qualité de preuve de ces résultats. On voit ainsi le manque important de données scientifiques traitant de la marche avec une assistance robotisée par exosquelette chez les patients blessés médullaires incomplets.

Parmi nos 3 articles, seul Gil-Agudo [63] offre des résultats, certes mitigés, mais statistiquement significatifs. Celui-ci montre des résultats qui tendent vers l'amélioration des capacités de marche avec l'exosquelette mais sans pouvoir exclure que la possibilité que cet effet soit dû au hasard. Même si cette étude a été réalisée avec une meilleure qualité méthodologique et des risques de biais réduits comparé aux deux autres études, elle ne permet pas de conclure de l'efficacité du traitement.

Les deux autres études présentent des résultats mitigés aussi, mais avec de nombreux risques de biais et des limites méthodologiques, rendant l'interprétation de leurs résultats imprécise.

Néanmoins, si cette revue de littérature ne permet pas d'apporter la preuve de l'efficacité de l'utilisation des exosquelettes dans la rééducation à la marche chez les patients blessés médullaires incomplets, elle ne met pas en évidence d'effet négatif sur celle-ci. Les résultats entrevus au cours de ces études permettent d'espérer trouver un protocole efficace de rééducation utilisant les exosquelettes dans la récupération de la marche.

Par ailleurs, même si les études ont utilisé en majorité des échelles validées et fiables (TDM6, TUG) pour leurs critères de jugement, on peut retrouver des échelles et normes différentes. Par exemple, on retrouve des résultats d'analyse quantitative de la marche utilisant la longueur de pas, de fente, le

temps de la phase d'oscillation qui sont peu reproductibles. Ces données sont fortement sujettes aux erreurs de mesure et de ce fait sont peu comparables ni interprétables.

Il est nécessaire que les futurs auteurs réalisent des essais cliniques randomisés de bonne qualité méthodologique, en incluant plus de patients et en les séparant préalablement dans des bras différents selon leur niveau d'autonomie et de marche. Par ailleurs, pour pouvoir comparer les études entre elles, il est nécessaire qu'elles utilisent les mêmes critères de jugement ainsi que des populations homogènes comparables. A défaut, il est difficile d'obtenir des conclusions fiables sur le sujet.

Compte tenu des évolutions rapides dans ce domaine, nous ne doutons pas que de nombreuses études traitant ce sujet soient prochainement réalisées.

En attendant d'avoir des résultats d'études fiables, compte tenu des faibles effets indésirables, il serait dommage pour les structures équipées d'un exosquelette de se priver des potentiels effets complémentaires dans la rééducation à la marche des patients blessés médullaires. Cette utilisation se doit de respecter les règles de maniement et les contre-indications fournis par le fabricant.

## 6. Figures et Tableaux

**Figure 1** : Schéma de l'Anatomie Générale de la Moelle Epinière

<https://monterolaw.com/wp-content/uploads/2019/07/news-spinal-cord-injury-due-to-a-defective-product.jpg>

**Figure 2** : Schéma d'une coupe de la moelle épinière

<http://www.vetopsy.fr/anatomie/systeme-nerveux/moelle-epiniere/images/couches-rexed.gif>

**Figure 3** : Photo de l'exosquelette Atalante®, développé par Wandercraft

<https://exoskeletonreport.com/product/atalante/>

**Tableau I** : Caractéristiques propres des exosquelettes, réalisé par l'auteur

**Tableau II** : Caractéristiques nécessaires du patient pour utiliser les exosquelettes, réalisé par l'auteur

**Figure 4** : Hiérarchisation des niveaux de preuves des études

<https://img.favpng.com/7/3/22/evidence-based-practice-evidence-based-medicine-research-design-png-favpng-hUfS7W6c0SE7GhjUa15BWpXbD.jpg>

**Figure 5** : Schématisation d'un essai clinique randomisé en groupes parallèles

<https://www.essais-cliniques.fr/glossaire>

**Figure 6** : Schématisation d'un essai clinique randomisé en cross over

<https://www.essais-cliniques.fr/glossaire>

**Tableau III** : Modèle PICO et termes utilisés pour l'équation de recherche, réalisé par l'auteur

**Figure 7** : Diagramme de flux du processus de sélection des études, réalisé par l'auteur

**Tableau IV** : Synthèse des études incluses dans la revue, réalisé par l'auteur

**Tableau V** : Risques de biais des études selon l'échelle PEDro, réalisé par l'auteur

**Tableau VI** : Taille d'effet et significativité statistique de l'échelle LEMS, réalisé par l'auteur

**Tableau VII** : Taille d'effet du 6MWT à partir d'une médiane et significativité statistique, réalisé par l'auteur

**Tableau VIII** : Estimation de la dispersion des valeurs du 6MWT avec l'intervalle interquartile, réalisé par l'auteur

**Tableau IX** : Taille d'effet et significativité statistique du 6MWT, réalisé par l'auteur

**Tableau X** : Taille d'effet du TUG à partir d'une médiane et significativité statistique, réalisé par l'auteur

**Tableau XI** : Estimation de la dispersion des valeurs du TUG avec l'intervalle interquartile, réalisé par l'auteur

**Tableau XII** : Taille d'effet et significativité statistique du TUG, réalisé par l'auteur

**Tableau XIII** : Taille d'effet et significativité statistique du WISCI-II, réalisé par l'auteur

**Figure 8** : Forest plot des données du 6 Minutes Walking Test, réalisé par l'auteur

**Figure 9** : Forest plot des données du Times Up and Go test, réalisé par l'auteur

**Tableau XIV** : Niveau de preuve du système GRADE, réalisé par l'auteur sur le logiciel GRADEpro

**Tableau XV** : Récapitulatif des items de la grille AMSTAR 2 et commentaires, réalisé par l'auteur

## 7. Références Bibliographiques

- [1] Kang Y, Ding H, Zhou H, Wei Z, Liu L, Pan D, et al. Epidemiology of worldwide spinal cord injury: a literature review. *J Neurorestoratology* 2017;Volume 6:1–9. <https://doi.org/10.2147/jn.s143236>.
- [2] Thau L, Reddy V, Singh P. Anatomy, Central Nervous System. StatPearls; 2022.
- [3] Guest J, Datta N, Jimsheleishvili G, Gater DR. Pathophysiology, Classification and Comorbidities after Traumatic Spinal Cord Injury. *J Pers Med* 2022;12. <https://doi.org/10.3390/jpm12071126>.
- [4] Hochman S. Spinal cord. *Curr Biol* 2007;17. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.014>.
- [5] Marino RJ, Leff M, Cardenas DD, Donovan J, Chen D, Kirshblum S, et al. Trends in Rates of ASIA Impairment Scale Conversion in Traumatic Complete Spinal Cord Injury. *Neurotrauma Reports* 2020;1:192–200. <https://doi.org/10.1089/neur.2020.0038>.
- [6] Bennett J, M Das J, D. Emmady P. Spinal Cord Injuries. StatPearls; 2022.
- [7] Rupp R, Biering-Sørensen F, Burns SP, Graves DE, Guest J, Jones L, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2021;27:1. <https://doi.org/10.46292/sci2702-1>.
- [8] Kirshblum S, Waring W. Updates for the international standards for neurological classification of Spinal Cord Injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2014;25:505–17. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.04.001>.
- [9] Kirshblum SC, Biering-Sorensen F, Betz R, Burns S, Donovan W, Graves DE, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury: Cases with classification challenges. *J Spinal Cord Med* 2014;37:120–7. <https://doi.org/10.1179/2045772314Y.0000000196>.
- [10] Kirshblum S, Snider B, Eren F, Guest J. Characterizing Natural Recovery after Traumatic Spinal Cord Injury. *J Neurotrauma* 2021;38:1267–84. <https://doi.org/10.1089/neu.2020.7473>.
- [11] MacKinnon CD. Sensorimotor anatomy of gait, balance, and falls. *Handb. Clin. Neurol.*, vol. 159, *Handb Clin Neurol*; 2018, p. 3–26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.00001-X>.
- [12] A. Pearl N, Dubensky L. Anterior cord syndrome. *Essent. Emerg. Trauma, StatPearls*; 2022. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29613-0\\_578](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29613-0_578).
- [13] McKinley W, Hills A, Sima A. Posterior cord syndrome: Demographics and rehabilitation outcomes. *J Spinal Cord Med* 2021;44:241–6. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1585135>.
- [14] Cochrane M, Hess M, Sajkowicz N. Posterior cord syndrome associated with postoperative seroma: The case to perform a complete neurologic exam. *J Spinal Cord Med* 2020;43:892–4. <https://doi.org/10.1080/10790268.2018.1550598>.
- [15] Ameer MA, Tessler J, Gillis CC. Central Cord Syndrome. StatPearls 2022.
- [16] Kennedy MP. Central cord syndrome. *Emerg Med* 1995;7:89–92. <https://doi.org/10.1111/j.1442-2026.1995.tb00213.x>.
- [17] Rodríguez-Quintero JH, Romero-Velez G, Pereira X, Kim PK. Traumatic Brown-Séquard syndrome: Modern reminder of a neurological injury. *BMJ Case Rep* 2020;13. <https://doi.org/10.1136/bcr-2020-236131>.

- [18] Shams S, Arain A. Brown Sequard Syndrome. StatPearls; 2022.
- [19] Lavy C, Marks P, Dangas K, Todd N. Cauda equina syndrome—a practical guide to definition and classification. *Int Orthop* 2022;46:165–9. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-05273-1>.
- [20] Rider IS, Marra EM. Cauda Equina And Conus Medullaris Syndromes. 2018.
- [21] Lidal IB, Snekkevik H, Aamodt G, Hjeltnes N, Stanghelle JK, Biering-Sørensen F. Mortality after spinal cord injury in Norway. *J Rehabil Med* 2007;39:145–51. <https://doi.org/10.2340/16501977-0017>.
- [22] Hagen EM. Acute complications of spinal cord injuries. *World J Orthop* 2015;6:17–23. <https://doi.org/10.5312/wjo.v6.i1.17>.
- [23] Ahuja CS, Nori S, Tetreault L, Wilson J, Kwon B, Harrop J, et al. Traumatic spinal cord injury - Repair and regeneration. *Clin Neurosurg* 2017;80:S22–90. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyw080>.
- [24] Hachem LD, Ahuja CS, Fehlings MG. Assessment and management of acute spinal cord injury: From point of injury to rehabilitation. *J Spinal Cord Med* 2017;40:665–75. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1329076>.
- [25] Wang TY, Park C, Zhang H, Rahimpour S, Murphy KR, Goodwin CR, et al. Management of Acute Traumatic Spinal Cord Injury: A Review of the Literature. *Front Surg* 2021;8. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.698736>.
- [26] Shiao R, Lee-Kubli CA. Neuropathic Pain After Spinal Cord Injury: Challenges and Research Perspectives. *Neurotherapeutics* 2018;15:635–53. <https://doi.org/10.1007/s13311-018-0633-4>.
- [27] Galeiras Vázquez R, Rascado Sedes P, Mourelo Fariña M, Montoto Marqués A, Ferreiro Velasco ME. Respiratory management in the patient with spinal cord injury. *Biomed Res Int* 2013;2013. <https://doi.org/10.1155/2013/168757>.
- [28] Popa C, Popa F, Grigorean VT, Onose G, Sandu AM, Popescu M, et al. Vascular dysfunctions following spinal cord injury. *J Med Life* 2010;3:275–85.
- [29] Grigorean VT, Sandu AM, Popescu M, Iacobini MA, Stoian R, Neascu C, et al. Cardiac dysfunctions following spinal cord injury. *J Med Life* 2009;2:133–45.
- [30] Hagen EM, Rekand T, Grønning M, Færeststrand S. Cardiovascular complications of spinal cord injury. *Tidsskr Nor Laegeforen* 2012;132:283–9. <https://doi.org/10.4045/TIDSSKR.11.0551>.
- [31] Tate DG, Wheeler T, Lane GI, Forchheimer M, Anderson KD, Biering-Sorensen F, et al. Recommendations for evaluation of neurogenic bladder and bowel dysfunction after spinal cord injury and/or disease. *J Spinal Cord Med* 2020;43:141–64. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1706033>.
- [32] Krassioukov A, Elliott S. Neural control and physiology of sexual function: Effect of spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2017;23:1–10. <https://doi.org/10.1310/sci2301-1>.
- [33] Hagen EM, Faerestrand S, Hoff JM, Rekand T, Gronning M. Cardiovascular and urological dysfunction in spinal cord injury. *Acta Neurol Scand* 2011;124:71–8. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2011.01547.x>.
- [34] McDaid D, Park A La, Gall A, Purcell M, Bacon M. Understanding and modelling the economic impact of spinal cord injuries in the United Kingdom. *Spinal Cord* 2019;57:778–88. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0285-1>.

- [35] Wilson R J, Hashimoto E R, Dettori R J, Fehlings G M. Spinal cord injury and quality of life: a systematic review of outcome measures. *Evid Based Spine Care J* 2011;2:37–44. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1267085>.
- [36] Dijkers MPJM. Quality of life of individuals with spinal cord injury: A review of conceptualization, measurement, and research findings. *J Rehabil Res Dev* 2005;42:87–110. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2004.08.0100>.
- [37] Geyh S, Fellinghauer BAG, Kirchberger I, Post MWM. Cross-cultural validity of four quality of life scales in persons with spinal cord injury. *Health Qual Life Outcomes* 2010;8. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-8-94>.
- [38] May LA, Warren S. Measuring quality of life of persons with spinal cord injury: External and structural validity. *Spinal Cord* 2002;40:341–50. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101311>.
- [39] Calmels P, Mick G, Perrouin-Verbe B, Ventura M. Neuropathic pain in spinal cord injury: Identification, classification, evaluation. *Ann Phys Rehabil Med* 2009;52:83–102. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2008.12.012>.
- [40] Timmerman H, Steegers MAH, Huygen FJPM, Goeman JJ, Van Dasselaar NT, Schenkels MJ, et al. Investigating the validity of the DN4 in a consecutive population of patients with chronic pain. *PLoS One* 2017;12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187961>.
- [41] Bekircan-Kurt CE, İnan B, Bulut O, Şengün İ, Karlı N, Güneş N, et al. Neuropathic pain frequency in neurology outpatients: A multicenter study. *Noropsikiyatri Ars* 2021;58:257–60. <https://doi.org/10.29399/npa.27549>.
- [42] Bryce TN, Budh CN, Cardenas DD, Dijkers M, Felix ER, Finnerup NB, et al. Pain after spinal cord injury: An evidence-based review for clinical practice and research - Report of the National Institute on Disability and Rehabilitation Research Spinal Cord Injury Measures Meeting. *J. Spinal Cord Med.*, vol. 30, *J Spinal Cord Med*; 2007, p. 421–40. <https://doi.org/10.1080/10790268.2007.11753405>.
- [43] Ditunno JF, Ditunno PL, Graziani V, Scivoletto G, Bernardi M, Castellano V, et al. Walking index for spinal cord injury (WISCI): An international multicenter validity and reliability study. *Spinal Cord* 2000;38:234–43. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3100993>.
- [44] van Middendorp JJ, Goss B, Urquhart S, Atresh S, Williams RP, Schuetz M. Diagnosis and Prognosis of Traumatic Spinal Cord Injury. *Glob Spine J* 2011;1:001–7. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1296049>.
- [45] Poynton AR, O'Farrell DA, Shannon F, Murray P, Mcmanus F, Walsh MG. Sparing of sensation to pin prick predicts recovery of a motor segment after injury to the spinal cord. *J Bone Jt Surg - Ser B* 1997;79:952–4. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.79B6.7939>.
- [46] Van Middendorp JJ, Hosman AJ, Donders ART, Pouw MH, Ditunno JF, Curt A, et al. A clinical prediction rule for ambulation outcomes after traumatic spinal cord injury: A longitudinal cohort study. *Lancet* 2011;377:1004–10. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)62276-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)62276-3).
- [47] Attabib N, Kurban D, Cheng CL, Rivers CS, Bailey CS, Christie S, et al. Factors Associated with Recovery in Motor Strength, Walking Ability, and Bowel and Bladder Function after Traumatic Cauda Equina Injury. *J Neurotrauma* 2021;38:322–9. <https://doi.org/10.1089/neu.2020.7303>.
- [48] Palermo AE, Maher JL, Baunsgaard CB, Nash MS. Clinician-Focused Overview of Bionic Exoskeleton Use After Spinal Cord Injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2017;23:234–44. <https://doi.org/10.1310/SCI2303-234>.

- [49] Wang S, Wang L, Meijneke C, Van Asseldonk E, Hoellinger T, Cheron G, et al. Design and Control of the MINDWALKER Exoskeleton. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2015;23:277–86. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2014.2365697>.
- [50] Mekki M, Delgado AD, Fry A, Putrino D, Huang V. Robotic Rehabilitation and Spinal Cord Injury: a Narrative Review. *Neurotherapeutics* 2018;15:604–17. <https://doi.org/10.1007/s13311-018-0642-3>.
- [51] Raab K, Krakow K, Tripp F, Jung M. Effects of training with the ReWalk exoskeleton on quality of life in incomplete spinal cord injury: a single case study. *Spinal Cord Ser Cases* 2016;2. <https://doi.org/10.1038/scsandc.2015.25>.
- [52] Evans N, Hartigan C, Kandilakis C, Pharo E, Clesson I. Acute cardiorespiratory and metabolic responses during exoskeleton-assisted walking overground among persons with chronic spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2015;21:122–32. <https://doi.org/10.1310/sci2102-122>.
- [53] Calabrò RS, Naro A, Russo M, Bramanti P, Carioti L, Balletta T, et al. Shaping neuroplasticity by using powered exoskeletons in patients with stroke: a randomized clinical trial. *J Neuroeng Rehabil* 2018;15:35. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0377-8>.
- [54] Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ* 2009;339. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>.
- [55] McInnes MDF, Moher D, Thombs BD, McGrath TA, Bossuyt PM, Clifford T, et al. Preferred Reporting Items for a Systematic Review and Meta-analysis of Diagnostic Test Accuracy Studies The PRISMA-DTA Statement. *JAMA - J Am Med Assoc* 2018;319:388–96. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.19163>.
- [56] Durieux N, Vadenput S, Pasleau F. [OCEBM levels of evidence system]. *Rev Med Liege* 2013;6.
- [57] Armijo-Olivo S, Da Costa BR, Cummings GG, Ha C, Fuentes J, Saltaji H, et al. PEDro or Cochrane to Assess the Quality of Clinical Trials? A Meta-Epidemiological Study. *PLoS One* 2015;10. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0132634>.
- [58] Barber M, Fail M, Shields M, Stott DJ, Langhorne P. Validity and reliability of estimating the scandinavian stroke scale score from medical records. *Cerebrovasc Dis* 2004;17:224–7. <https://doi.org/10.1159/000075795>.
- [59] Murad MH. Clinical Practice Guidelines: A Primer on Development and Dissemination. *Mayo Clin Proc* 2017;92:423–33. <https://doi.org/10.1016/J.MAYOCP.2017.01.001>.
- [60] Broek JL, Akl EA, Alonso-Coello P, Lang D, Jaeschke R, Williams JW, et al. Grading quality of evidence and strength of recommendations in clinical practice guidelines. Part 1 of 3. An overview of the GRADE approach and grading quality of evidence about interventions. *Allergy* 2009;64:669–77. <https://doi.org/10.1111/J.1398-9995.2009.01973.X>.
- [61] Chang SH, Afzal T, Berliner J, Francisco GE. Exoskeleton-assisted gait training to improve gait in individuals with spinal cord injury: A pilot randomized study. *Pilot Feasibility Stud* 2018;4. <https://doi.org/10.1186/s40814-018-0247-y>.
- [62] Edwards DJ, Forrest G, Cortes M, Weightman MM, Sadowsky C, Chang SH, et al. Walking improvement in chronic incomplete spinal cord injury with exoskeleton robotic training (WISE): a randomized controlled trial. *Spinal Cord* 2022;60:522–32. <https://doi.org/10.1038/s41393-022-00751-8>.

- [63] Gil-Agudo Á, Megía-García Á, Pons JL, Sinovas-Alonso I, Comino-Suárez N, Lozano-Berrio V, et al. Exoskeleton-based training improves walking independence in incomplete spinal cord injury patients: results from a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2023;20. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01158-z>.
- [64] Shin JC, Yoo JH, Jung TH, Goo HR. Comparison of lower extremity motor score parameters for patients with motor incomplete spinal cord injury using gait parameters. *Spinal Cord* 2011;49:529–33. <https://doi.org/10.1038/sc.2010.158>.
- [65] Van Hedel HJ, Wirz M, Dietz V. Assessing walking ability in subjects with spinal cord injury: Validity and reliability of 3 walking tests. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:190–6. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2004.02.010>.
- [66] Willi R, Widmer M, Merz N, Bastiaenen CHG, Zörner B, Bolliger M. Validity and reliability of the 2-minute walk test in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord* 2023;61:15–21. <https://doi.org/10.1038/s41393-022-00847-1>.
- [67] Christopher A, Kraft E, Olenick H, Kiesling R, Doty A. The reliability and validity of the Timed Up and Go as a clinical tool in individuals with and without disabilities across a lifespan: a systematic review. *Disabil Rehabil* 2021;43:1799–813. <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1682066>.
- [68] Scivoletto G, Tamburella F, Laurenza L, Torre M, Molinari M, Ditunno JF. Walking index for spinal cord injury version II in acute spinal cord injury: Reliability and reproducibility. *Spinal Cord* 2014;52:65–9. <https://doi.org/10.1038/sc.2013.127>.
- [69] Aach M, Cruciger O, Sczesny-Kaiser M, Höffken O, Meindl RC, Tegenthoff M, et al. Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury: A pilot study. *Spine J* 2014;14:2847–53. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2014.03.042>.
- [70] Israel JF, Campbell DD, Kahn JH, Hornby TG. Metabolic costs and muscle activity patterns during robotic- and therapist-assisted treadmill walking in individuals with incomplete spinal cord injury. *Phys Ther* 2006;86:1466–78. <https://doi.org/10.2522/ptj.20050266>.
- [71] Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P, et al. GRADE: An emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 2008;336:924–6. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.ad>.
- [72] Cuello García CA, Pacheco Alvarado KP, Pérez Gaxiola G. Grading recommendations in clinical practice guidelines: Randomised experimental evaluation of four different systems. *Arch Dis Child* 2011;96:723–8. <https://doi.org/10.1136/adc.2010.199307>.
- [73] Vandvik PO, Santesso N, Akl EA, You J, Mulla S, Spencer FA, et al. Formatting modifications in GRADE evidence profiles improved guideline panelists comprehension and accessibility to information. A randomized trial. *J Clin Epidemiol* 2012;65:748–55. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2011.11.013>.
- [74] Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: A critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ* 2017;358. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>.
- [75] Gagnon DH, Escalona MJ, Vermette M, Carvalho LP, Karelis AD, Duclos C, et al. Locomotor training using an overground robotic exoskeleton in long-term manual wheelchair users with a chronic spinal cord injury living in the community: Lessons learned from a feasibility study in terms of recruitment, attendance, learnability, performance. *J Neuroeng Rehabil* 2018;15. <https://doi.org/10.1186/S12984-018-0354-2>.

- [76] Okawara H, Sawada T, Matsubayashi K, Sugai K, Tsuji O, Nagoshi N, et al. Gait ability required to achieve therapeutic effect in gait and balance function with the voluntary driven exoskeleton in patients with chronic spinal cord injury: a clinical study. *Spinal Cord* 2020;58:520–7. <https://doi.org/10.1038/S41393-019-0403-0>.
- [77] Sale P, Russo EF, Russo M, Masiero S, Piccione F, Calabrò RS, et al. Effects on mobility training and de-adaptations in subjects with Spinal Cord Injury due to a Wearable Robot: A preliminary report. *BMC Neurol* 2016;16. <https://doi.org/10.1186/s12883-016-0536-0>.
- [78] Xiang XN, Zong HY, Ou Y, Yu X, Cheng H, Du CP, et al. Exoskeleton-assisted walking improves pulmonary function and walking parameters among individuals with spinal cord injury: a randomized controlled pilot study. *J Neuroeng Rehabil* 2021;18. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00880-w>.
- [79] Yildirim MA, Öneş K, Gökşenoğlu G. Early term effects of robotic assisted gait training on ambulation and functional capacity in patients with spinal cord injury. *Turkish J Med Sci* 2019;49:838–43. <https://doi.org/10.3906/SAG-1809-7>.

# 8. Annexes

## 8.1) Score ASIA :

### Cotation fonction musculaire

- 0 = paralysie totale
- 1 = contraction visible ou palpable
- 2 = mouvement actif dans son amplitude complète, sans pesanteur
- 3 = mouvement actif dans son amplitude complète, contre pesanteur
- 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, hypertonie sur > 50% amplitude du mouvement)

### Cotation sensitive

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

### Fonctions musculaires non clés / facultatif

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

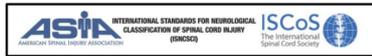
Mouvement	Racine
Épaule : flexion, extension, abduction, adduction, rotation interne et externe	C5
Coude : supination	C6
Poignet : flexion	C7
Doigts : flexion, extension	C8
Pouce : flexion, extension, abduction dans le plan	C8
Doigts : flexion MCP	C8
Poince : supination, abduction et adduction dans le plan perpendiculaire à la paume	T1
Doigts : abduction de l'index	L2
Hanche : adduction	L3
Hanche : rotation externe	L4
Hanche : extension, abduction, rotation interne	L5
Genou : flexion	S1
Cheville : inversion et éversion	
Orteils : extension MTP et IP	
Hallux et Orteils : flexion et abduction	
IPP et IPD	
Hallux : adduction	

### 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 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 ≥ 3.
- E = Normal** : la sensibilité et la motricité sont normales. Il peut persister des anomalies des réflexes.

### Etapas de la classification

1. Déterminer les niveaux sensitifs pour les côtés droit et gauche.  
*Le niveau sensitif est le dernier dermatome sain pour la pique et le toucher.*
2. Déterminer les niveaux moteurs pour les côtés droit et gauche.  
*Défini par le dernier muscle clé coté ≥ 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 sensitif, si la fonction motrice testable au dessus de ce niveau est également normale.*
3. 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.*
4. Déterminer si la lésion est complète ou incomplète.  
*(c'est à dire l'absence ou la présence d'épargne sacrale)*  
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**.
5. Déterminer le score de déficience ASIA  
*Est-ce une lésion complète ? Si OUI, ASIA = A et noter la zone de préservation partielle (dermatome ou myotome de chaque côté avec une préservation)*  
NON  
Est-ce une lésion motrice complète ? Si OUI, ASIA = B  
NON  
*(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)*  
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)



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



DROITE		SENSITIF		POINTS SENSITIFS CLÉS		MOTEUR GAUCHE	
Membre supérieur droit	Membre inférieur droit	Toucher (LTD)	Piqûre (PPD)	Toucher (LTG)	Piqûre (PPG)	Membre supérieur gauche	Membre inférieur gauche
MSD (membre supérieur droit)	MID (membre inférieur droit)	T2	T2	T2	T2	MSG (membre supérieur gauche)	MIG (membre inférieur gauche)
MSG (membre supérieur gauche)	MIG (membre inférieur gauche)	T3	T3	T3	T3		
		T4	T4	T4	T4		
		T5	T5	T5	T5		
		T6	T6	T6	T6		
		T7	T7	T7	T7		
		T8	T8	T8	T8		
		T9	T9	T9	T9		
		T10	T10	T10	T10		
		T11	T11	T11	T11		
		T12	T12	T12	T12		
		L1	L1	L1	L1		
		L2	L2	L2	L2		
		L3	L3	L3	L3		
		L4	L4	L4	L4		
		L5	L5	L5	L5		
		S1	S1	S1	S1		
		S2	S2	S2	S2		
		S3	S3	S3	S3		
		S4-5	S4-5	S4-5	S4-5		
TOTAL DROITE (MAXIMUM)		TOTAL SENSITIF (MAXIMUM)		TOTAL MOTEUR GAUCHE (MAXIMUM)			
SCORES MOTEURS		SCORES SENSITIFS					
MSD (25) + MSG (25) = MS TOTAL (50)	MID (25) + MIG (25) = MI TOTAL (50)	LTD (50) + LTG (50) = LI TOTAL (100)	PPD (112) + PPG (56) = PP TOTAL (168)				
NIVEAUX NEUROLOGIQUES		4. COMPLETE OU INCOMPLETE		ZONE DE PRESERVATION PARTIELLE		SENSITIVITE MOTRICE	
1. SENSITIF		2. NIVEAU LESIONNEL		3. ZONE DE PRESERVATION PARTIELLE		4. SENSITIVITE MOTRICE	

Ce formulaire peut être copié librement, mais ne peut pas être modifié dans la permission de l'American Spinal cord Injury Association.  
 Radigue et de Crocy, 2015

## 8.2) Echelles d'évaluations de la Spasticité :

### 8.2.1) Echelle de Tardieu :

## Échelle de Tardieu

Elle prend en compte les trois facteurs qui caractérisent la spasticité.

Angle en fonction de la vitesse de l'étirement passif (trois vitesses sont différenciées) :	degré
Av1 : angle à V1, vitesse lente qui permet d'apprécier à la mobilisation passive la réponse tonique à l'étirement <i>Vitesse inférieure à celle imposée par la pesanteur</i>	
Av2 : angle à V2, vitesse moyenne qui correspond à l'action de la pesanteur sur le segment <i>Vitesse égale à celle de la pesanteur</i>	
Av3 : angle à V3, vitesse rapide qui permet d'apprécier les réactions phasiques à l'étirement <i>Vitesse supérieure à celle de la pesanteur</i>	
L'angle d'apparition du réflexe myotatique qui est d'autant plus petit que la vitesse est plus rapide et la spasticité plus importante	degré
Noter l'angle articulaire d'apparition du réflexe (Av1 – Av3)	
L'intensité de la réponse qui est cotée de 0 à 4 :	Niveau
Muscle sain, pas de signe d'hypertonie <i>Pas de réflexe d'étirement</i>	0
Réaction myotatique visible ou palpable qui n'entrave pas la mobilisation passive <i>Contractions musculaires visibles ou palpables</i>	1
Arrêt un court instant (1 à 3 secondes) de la mobilisation passive par la réaction myotatique <i>Contraction avec ressaut</i>	2
Présence de secousses cloniques ou d'un arrêt plus long de la mobilisation (de l'ordre de 10 secondes) <i>Trépidations épuisables ou hypertonie marquée permettant une mobilisation aisée</i>	3
Spasticité invincible qui ne cède pas à l'étirement. La différenciation avec une rétraction ne peut être réalisée qu'à la suite d'examens plus approfondis (contrôle sous sommeil ou anesthésie générale) <i>Trépidations inépuisables ou hypertonie considérable avec mobilisation difficile</i>	4

8.2.2) Echelle d'Aschworth Modifié :

**Table 1.** Modified Ashworth Scale for Grading Spasticity

<b>Grade</b>	<b>Description</b>
0	no increase in muscle tone
1	slight increase in muscle tone, manifested by a catch and release or by minimal resistance at the end of the range of motion when the affected part(s) is moved in flexion or extension
1+	slight increase in muscle tone, manifested by a catch, followed by minimal resistance throughout the remainder (less than half) of the ROM
2	more marked increase in muscle tone through most of the ROM, but affected part(s) easily moved
3	considerable increase in muscle tone, passive movement difficult
4	affected part(s) rigid in flexion or extension

**8.3) Echelle d'évaluation des Spasmes : Echelle de Penn :**

Échelle de spasme de Penn

Niveau	Descriptif
0	Absence de spasme
1	Absence de spasme spontané: présence de spasmes induits par stimulation sensorielle ou mobilisation passive
2	Spasmes spontanés occasionnels
3	Nombre de spasmes spontanés compris entre 1 et 10 par heure
4	Plus de 10 spasmes spontanés par heure

## 8.4) Echelles de Qualité de vie :

### 8.4.1) Satisfaction With Life Scale (SWLS) :

---

#### **The Satisfaction with Life Scale**

---

By Ed Diener, Ph.D.

DIRECTIONS: Below are five statements with which you may agree or disagree. Using the 1-7 scale below, indicate your agreement with each item by placing the appropriate number in the line preceding that item. Please be open and honest in your responding.

- 1 = Strongly Disagree
- 2 = Disagree
- 3 = Slightly Disagree
- 4 = Neither Agree or Disagree
- 5 = Slightly Agree
- 6 = Agree
- 7 = Strongly Agree

- \_\_\_\_\_ 1. In most ways my life is close to my ideal.
- \_\_\_\_\_ 2. The conditions of my life are excellent.
- \_\_\_\_\_ 3. I am satisfied with life.
- \_\_\_\_\_ 4. So far I have gotten the important things I want in life.
- \_\_\_\_\_ 5. If I could live my life over, I would change almost nothing.

8.4.2) Quality of Life Index -Spinal Cord Injury Version (QLI – SCI) :

**Ferrans and Powers  
QUALITY OF LIFE INDEX®  
SPINAL CORD INJURY VERSION - III**

**PART I.** For each of the following, please choose the answer that best describes how *satisfied* you are with that area of your life. Please mark your answer by circling the number. There are no right or wrong answers.

<b>HOW SATISFIED ARE YOU WITH:</b>	Very Dissatisfied	Moderately Dissatisfied	Slightly Dissatisfied	Slightly Satisfied	Moderately Satisfied	Very Satisfied
1. Your health?	1	2	3	4	5	6
2. Your health care?	1	2	3	4	5	6
3. The amount of pain that you have?	1	2	3	4	5	6
4. The amount of energy you have for everyday activities?	1	2	3	4	5	6
5. Your ability to take care of yourself without help?	1	2	3	4	5	6
6. Your ability to go places outside your home?	1	2	3	4	5	6
7. Your ability to clear your lungs?	1	2	3	4	5	6
8. The amount of control you have over your life?	1	2	3	4	5	6
9. Your chances of living as long as you would like?	1	2	3	4	5	6
10. Your family's health?	1	2	3	4	5	6
11. Your children?	1	2	3	4	5	6
12. Your ability to have children?	1	2	3	4	5	6
13. Your family's happiness?	1	2	3	4	5	6
14. Your sex life?	1	2	3	4	5	6
15. Your spouse, lover, or partner (if you have one)?	1	2	3	4	5	6
16. Not having a spouse, lover or partner (if you do not have one)?	1	2	3	4	5	6
17. Your friends?	1	2	3	4	5	6

(Please Go To Next Page)

© Copyright 1984 & 1998 Carol Estwing Ferrans and Marjorie J. Powers

<b>HOW SATISFIED ARE YOU WITH:</b>	Very Dissatisfied	Moderately Dissatisfied	Slightly Dissatisfied	Slightly Satisfied	Moderately Satisfied	Very Satisfied
18. The emotional support you get from your family?	1	2	3	4	5	6
19. The emotional support you get from people other than your family?	1	2	3	4	5	6
20. Your ability to take care of family responsibilities?	1	2	3	4	5	6
21. How useful you are to others?	1	2	3	4	5	6
22. The amount of worries in your life?	1	2	3	4	5	6
23. Your neighborhood?	1	2	3	4	5	6
24. Your home, apartment, or place where you live?	1	2	3	4	5	6
25. Your job (if employed)?	1	2	3	4	5	6
26. Not having a job (if unemployed, retired, or disabled)?	1	2	3	4	5	6
27. Your education?	1	2	3	4	5	6
28. How well you can take care of your financial needs?	1	2	3	4	5	6
29. The things you do for fun?	1	2	3	4	5	6
30. Your chances for a happy future?	1	2	3	4	5	6
31. Your peace of mind?	1	2	3	4	5	6
32. Your faith in God?	1	2	3	4	5	6
33. Your achievement of personal goals?	1	2	3	4	5	6
34. Your happiness in general?	1	2	3	4	5	6
35. Your life in general?	1	2	3	4	5	6
36. Your personal appearance?	1	2	3	4	5	6
37. Yourself in general?	1	2	3	4	5	6

(Please Go To Next Page)

© Copyright 1984 & 1998 Carol Estwing Ferrans and Marjorie J. Powers

**PART 2.** For each of the following, please choose the answer that best describes how *important* that area of your life is to you. Please mark your answer by circling the number. There are no right or wrong answers.

<b>HOW IMPORTANT TO YOU IS:</b>	Very Unimportant	Moderately Unimportant	Slightly Unimportant	Slightly Important	Moderately Important	Very Important
1. Your health?	1	2	3	4	5	6
2. Your health care?	1	2	3	4	5	6
3. Having no pain?	1	2	3	4	5	6
4. Having enough energy for everyday activities?	1	2	3	4	5	6
5. Taking care of yourself without help?	1	2	3	4	5	6
6. Being able to go places outside your home?	1	2	3	4	5	6
7. Your ability to clear your lungs?	1	2	3	4	5	6
8. Having control over your life?	1	2	3	4	5	6
9. Living as long as you would like?	1	2	3	4	5	6
10. Your family's health?	1	2	3	4	5	6
11. Your children?	1	2	3	4	5	6
12. Being able to have children?	1	2	3	4	5	6
13. Your family's happiness?	1	2	3	4	5	6
14. Your sex life?	1	2	3	4	5	6
15. Your spouse, lover, or partner (if you have one)?	1	2	3	4	5	6
16. Having a spouse, lover or partner (if you do not have one)?	1	2	3	4	5	6
17. Your friends?	1	2	3	4	5	6

(Please Go To Next Page)

© Copyright 1984 & 1998 Carol Estwing Ferrans and Marjorie J. Powers

<b>HOW IMPORTANT TO YOU IS:</b>	Very Unimportant	Moderately Unimportant	Slightly Unimportant	Slightly Important	Moderately Important	Very Important
18. The emotional support you get from your family?	1	2	3	4	5	6
19. The emotional support you get from people other than your family?	1	2	3	4	5	6
20. Taking care of family responsibilities?	1	2	3	4	5	6
21. Being useful to others?	1	2	3	4	5	6
22. Having no worries?	1	2	3	4	5	6
23. Your neighborhood?	1	2	3	4	5	6
24. Your home, apartment, or place where you live?	1	2	3	4	5	6
25. Your job (if employed)?	1	2	3	4	5	6
26. Having a job (if unemployed, retired, or disabled)?	1	2	3	4	5	6
27. Your education?	1	2	3	4	5	6
28. Being able to take care of your financial needs?	1	2	3	4	5	6
29. Doing things for fun?	1	2	3	4	5	6
30. Having a happy future?	1	2	3	4	5	6
31. Peace of mind?	1	2	3	4	5	6
32. Your faith in God?	1	2	3	4	5	6
33. Achieving your personal goals?	1	2	3	4	5	6
34. Your happiness in general?	1	2	3	4	5	6
35. Being satisfied with life?	1	2	3	4	5	6
36. Your personal appearance?	1	2	3	4	5	6
37. Are you to yourself?	1	2	3	4	5	6

© Copyright 1984 & 1998 Carol Estwing Ferrans and Marjorie J. Powers

8.4.3) Life Satisfaction Questionnaire 9 (LISAT 9) :

**Life-Satisfaction Questionnaire-9 (LISAT-9)**

Adapted from Fugl-Meyer AR, Branholm IB, and Fugl-Meyer KS, Happiness and domain-specific life satisfaction In adult northern Swedes, Clin Rehabil, 5: 25-33, 1991; Table 3. Used with permission from Sage Publishing.

Life-Satisfaction Questionnaire-9 (LISAT-9) Worksheet:

Patient Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

How satisfactory are these different aspects of your life? Indicate the number which best suits your situation.

1 = very dissatisfying	4 = rather satisfying
2 = dissatisfying	5 = satisfying
3 = rather dissatisfying	6 = very satisfying

Score: (1-6)

Life as a whole is \_\_\_\_\_

My ability to manage my self-care (dressing, hygiene, transfers, etc.) is \_\_\_\_\_

My leisure situation is \_\_\_\_\_

My vocational situation is \_\_\_\_\_

My financial situation is \_\_\_\_\_

My sexual life is \_\_\_\_\_

My partnership relation is \_\_\_\_\_

My family life is \_\_\_\_\_

My contacts with friends and acquaintances are \_\_\_\_\_

Sum: \_\_\_\_\_

8.4.4) World Health Organization Questionnaire for Quality Of Life (WHO QOL-Bref) :

WHOQOL-Bref (vf. O.2)  
Page 1

## WHO QOL - Bref

Version test  
Avril 1997

PROGRAMME SUR LA SANTE MENTALE  
ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE  
GENEVE

Information sur le calcul des scores

	Equations pour calculer les scores par domaine	score bruts	scores de 4 à 20	scores de 0 à 100
Domaine 1	$(6-Q3) + (6-Q4) + Q10 + Q15 + Q16 + Q17 + Q18$ $\square + \square + \square + \square + \square + \square + \square$			
Domaine 2	$Q5 + Q6 + Q7 + Q11 + Q19 + (6 - Q26)$ $\square + \square + \square + \square + \square + \square$			
Domaine 3	$Q20 + Q21 + Q22$ $\square + \square + \square$			
Domaine 4	$Q8 + Q9 + Q12 + Q13 + Q14 + Q23 + Q24 + Q25$ $\square + \square + \square + \square + \square + \square + \square$			

		Très mauvaise	Mauvaise	Ni bonne, ni mauvaise	Bonne	Très bonne
1 (G1)	Comment trouvez-vous votre qualité de vie ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout satisfait	Pas satisfait	Ni satisfait ni insatisfait	Satisfait	Très satisfait
2 (G4)	Etes-vous satisfait de votre santé ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup	Complètement
3 (F1.4)	La douleur (physique) vous empêche-t-elle de faire ce que vous avez à faire ?	1	2	3	4	5
4 (F11.3)	Un traitement médical vous est-il nécessaire pour faire face à la vie de tous les jours ?	1	2	3	4	5
5 (F4.1)	Trouvez-vous la vie agréable ?	1	2	3	4	5
6 (F24.2)	Vos croyances personnelles donnent-elles un sens à votre vie ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup	Tout à fait
7 (5.3)	Etes-vous capable de vous concentrer ?	1	2	3	4	5
8 (F16.1)	Vous sentez vous en sécurité dans votre vie de tous les jours ?	1	2	3	4	5
9 (F22.1)	Votre environnement est-il sain (pollution, bruit, salubrité, etc.) ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout	Un peu	Modérément	Suffisamment	Tout à fait
10 (F2.1)	Avez-vous assez d'énergie dans la vie de tous les jours ?	1	2	3	4	5
11 (F7.1)	Acceptez-vous votre apparence physique ?	1	2	3	4	5
12 (F18.1)	Avez-vous assez d'argent pour satisfaire vos besoins ?	1	2	3	4	5
13 (F20.1)	Avez vous le sentiment d'être assez informé pour faire face à la vie de tous les jours ?	1	2	3	4	5
14 (F21.1)	Avez-vous la possibilité d'avoir des activités de loisirs ?	1	2	3	4	5

		Très mauvaise	Mauvaise	Ni bonne, ni mauvaise	Bonne	Très bonne
15 (F9.1)	Comment trouvez-vous votre capacité à vous déplacer seul ?	1	2	3	4	5
		Très insatisfait	Insatisfait	Ni satisfait ni insatisfait	Satisfait	Très satisfait
16 (F3.3)	Etes-vous satisfait de votre sommeil ?	1	2	3	4	5
17 (F10.3)	Etes-vous satisfait de votre capacité à accomplir vos activités quotidiennes ?	1	2	3	4	5
18 (F12.4)	Etes-vous satisfait de votre capacité à travailler ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup	Extrêmement
19 (F6.3)	Avez-vous une bonne opinion de vous-même ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout satisfait	Pas satisfait	Ni satisfait ni insatisfait	Satisfait	Très satisfait
20 (F13.3)	Etes-vous satisfait de vos relations personnelles ?	1	2	3	4	5
21 (F15.3)	Etes-vous satisfait de votre vie sexuelle ?	1	2	3	4	5
22 (F14.4)	Etes-vous satisfait du soutien que vous recevez de vos amis ?	1	2	3	4	5
23 (F17.3)	Etes-vous satisfait de l'endroit où vous vivez ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout	Un peu	Modérément	Beaucoup	Tout à fait
24 (F19.3)	Avez-vous facilement accès aux soins dont vous avez besoin ?	1	2	3	4	5
		Pas du tout satisfait	Pas satisfait	Ni satisfait ni insatisfait	Satisfait	Très satisfait
25 (F23.3)	Etes-vous satisfait de vos moyens de transport ?	1	2	3	4	5
		Jamais	Parfois	Souvent	Très souvent	Toujours
26 (F8.1)	Eprouvez-vous souvent des sentiments négatifs comme le cafard, le désespoir, l'anxiété ou la dépression ?	1	2	3	4	5

This translation was not created by the World Health Organization (WHO). WHO is not responsible for the content or accuracy of this translation. In the event of any inconsistency between the English and the translated version, the original English version shall be the binding and authentic version.

#### 8.4.5) Perceived Quality Of Life (P-QOL) :

##### **What are the PQoL Items?**

The PQoL consists of the following 19 items, each with an 11-point response scale, in addition to a global item on happiness used for comparison purposes:

- 0 - Extremely dissatisfied/unhappy
- 1 or 2 - Somewhat dissatisfied/unhappy
- 3 or 4 - A little dissatisfied/unhappy
- 5 - Neither satisfied/happy or dissatisfied/unhappy
- 6 or 7 - A little satisfied/happy
- 8 or 9 - Somewhat satisfied/happy
- 10 - Extremely satisfied/happy

The 19 items measure the level of satisfaction; an additional item addressing happiness is used to examine convergent validity within the instrument. The additional item also uses a 0 – 10 scale to rate his/her happiness.

- P 1 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with your physical health (the health of your body)?
- P 2 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with how well you care for yourself, for example, preparing meals, bathing, or shopping?
- C 3 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with how well you think and remember?
- P 4 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the amount of walking you do?
- P 5 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with how often you get outside the house, for example, going into town, using public transportation, or driving?
- C 6 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with how well you carry on a conversation, for example, speaking clearly, hearing others, or being understood
- 7 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the kind and amount of food you eat?
- S 8 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with how often you see or talk to your family and Friends?
- S 9 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the help you get from your family and friends, for example, helping in an emergency, fixing your house, or doing errands?
- S 10 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the help you give to your family and friends?
- S 11 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with your contribution to your community, for example, a neighborhood, religious, political or other group?
- S 12 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with your work situation, for example, your current job, retirement for any reason, or never having worked?
- S 13 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the kind and amount of recreation or leisure you have?

- S 14 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with your level of sexual activity or lack of sexual activity?
- S 15 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the way your income meets your needs?
- S 16 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with how respected you are by others?
- S 17 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the meaning and purpose of your life?
- S 18 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the amount of variety in your life?
- P 19 How *dissatisfied* or *satisfied* are you with the amount and kind of sleep you get?

The single overall item uses a n 11-point response scale from extremely unhappy to very happy

- S 20 How happy are you?

#### **How is the PQoL scored?**

Nineteen item scores and an overall score based on the mean or median of the 19 item scores are constructed. A population mean/median of 7.5 has been observed (N=3359). Interpretation of the measure in cross-sectional use is [ $< 7.5$  score is Dissatisfied] and [ $> 7.5$  score is Satisfied].

Subscale scores of physical, social, and cognitive health satisfaction (denoted by P, S, and C accordingly) can be used in further analysis as well as the overall score. Item 7 did not appear to fall into any factor and is best to use on its own.

For convergent validity, the overall PQoL score can be correlated with Item 20, the happiness rating. The Pearson's or ICC correlation coefficient should exceed 0.70.

#### **How is the PQoL administered?**

The PQoL can be either administered by an interviewer or self-administered in approximately 5 minutes.

#### **What language versions of the PQoL are available?**

The PQoL is available in the following languages: (\* indicates validation testing completed)

- US English
- US Spanish
- Norwegian

## 8.5) Echelle sur les douleurs :

### 8.5.1) DN4 :

## Questionnaire DN4

### Un outil simple pour rechercher les douleurs neuropathiques

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OUI = 1 point

NON = 0 point

**Score du Patient : /10**

#### MODE D'EMPLOI

Lorsque le praticien suspecte une douleur neuropathique, le questionnaire DN4 est utile comme outil de diagnostic.

Ce questionnaire se répartit en 4 questions représentant 10 items à cocher :

- ✓ Le praticien interroge lui-même le patient et remplit le questionnaire
- ✓ A chaque item, il doit apporter une réponse « oui » ou « non »
- ✓ A la fin du questionnaire, le praticien comptabilise les réponses, 1 pour chaque « oui » et 0 pour chaque « non ».
- ✓ La somme obtenue donne le Score du Patient, noté sur 10.

Si le score du patient est égal ou supérieur à 4/10, le test est positif (sensibilité à 82,9 % ; spécificité à 89,9 %)

D'après Bouhassira D et al. Pain 2004 ; 108 (3) : 248-57

Echelle téléchargée sur le site [www.sfetd-douleur.org](http://www.sfetd-douleur.org)



8.5.2) Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs (LANSS) :

**THE LANSS PAIN SCALE**

Leeds Assessment of Neuropathic Symptoms and Signs

NAME \_\_\_\_\_ DATE \_\_\_\_\_

This pain scale can help to determine whether the nerves that are carrying your pain signals are working normally or not. It is important to find this out in case different treatments are needed to control your pain.

---

**A. PAIN QUESTIONNAIRE**

- Think about how your pain has felt over the last week.
- Please say whether any of the descriptions match your pain exactly.

1) **Does your pain feel like strange, unpleasant sensations in your skin? Words like pricking, tingling, pins and needles might describe these sensations.**

- a) NO - My pain doesn't really feel like this..... (0)
- b) YES - I get these sensations quite a lot..... (5)

2) **Does your pain make the skin in the painful area look different from normal? Words like mottled or looking more red or pink might describe the appearance.**

- a) NO - My pain doesn't affect the colour of my skin..... (0)
- b) YES - I've noticed that the pain does make my skin look different from normal .... (5)

3) **Does your pain make the affected skin abnormally sensitive to touch? Getting unpleasant sensations when lightly stroking the skin, or getting pain when wearing tight clothes might describe the abnormal sensitivity.**

- a) NO - My pain doesn't make my skin abnormally sensitive in that area..... (0)
- b) YES - My skin seems abnormally sensitive to touch in that area..... (3)

4) **Does your pain come on suddenly and in bursts for no apparent reason when you're still. Words like electric shocks, jumping and bursting describe these sensations.**

- a) NO - My pain doesn't really feel like this ..... (0)
- b) YES - I get these sensations quite a lot ..... (2)

5) **Does your pain feel as if the skin temperature in the painful area has changed abnormally? Words like hot and burning describe these sensations**

- a) NO - I don't really get these sensations..... (0)
- b) YES - I get these sensations quite a lot ..... (1)

**B. SENSORY TESTING**

Skin sensitivity can be examined by comparing the painful area with a contralateral or adjacent non-painful area for the presence of allodynia and an altered pin-prick threshold (PPT).

**1) ALLODYNIA**

Examine the response to lightly stroking cotton wool across the non-painful area and then the painful area. If normal sensations are experienced in the non-painful site, but pain or unpleasant sensations (tingling, nausea) are experienced in the painful area when stroking, allodynia is present.

- a) NO, normal sensation in both areas ..... (0)
- b) YES, allodynia in painful area only ..... (5)

**2) ALTERED PIN-PRICK THRESHOLD**

Determine the pin-prick threshold by comparing the response to a 23 gauge (blue) needle mounted inside a 2 ml syringe barrel placed gently on to the skin in a non-painful and then painful areas.

If a sharp pin prick is felt in the non-painful area, but a different sensation is experienced in the painful area e.g. none / blunt only (raised PPT) or a very painful sensation (lowered PPT), an altered PPT is present.

If a pinprick is not felt in either area, mount the syringe onto the needle to increase the weight and repeat.

- a) NO, equal sensation in both areas ..... (0)
- b) YES, altered PPT in painful area ..... (3)

---

**SCORING:**

Add values in parentheses for sensory description and examination findings to obtain overall score.

TOTAL SCORE (maximum 24) .....

If score < 12, neuropathic mechanisms are **unlikely** to be contribution to the patient's pain

If score ≥ 12, neuropathic mechanisms are **likely** to be contributing to the patient's pain

## 8.6) Tableau des études exclues :

Nom de l'auteur principal	Titre de l'étude	Motif d'exclusion
Gagnon DH (2018) [75]	Locomotor training using an overground robotic exoskeleton in long-term manual wheelchair users with a chronic spinal cord injury living in the community: Lessons learned from a feasibility study in terms of recruitment, attendance, learnability, performance and safety.	Inclus des patients présentant une lésion médullaire complète
Okawara H (2020) [76]	Gait ability required to achieve therapeutic effect in gait and balance function with the voluntary driven exoskeleton in patients with chronic spinal cord injury: a clinical study	Inclus des patients présentant une lésion médullaire complète
Sale P (2016) [77]	Effects on mobility training and de-adaptations in subjects with Spinal Cord Injury due to a Wearable Robot: A preliminary report	Inclus des patients présentant une lésion médullaire complète
Xiang XN (2021) [78]	Exoskeleton-assisted walking improves pulmonary function and walking parameters among individuals with spinal cord injury: a randomized controlled pilot study	Inclus des patients présentant une lésion médullaire complète
Yildirim MA (2019) [79]	Early term effects of robotic assisted gait training on ambulation and functional capacity in patients with spinal cord injury	Inclus des patients présentant une lésion médullaire complète

## 8.7) Tableaux détaillés des caractéristiques des études incluses :

### 8.7.1) Chang2018 :

<b>Population</b>	<p><u>Nombre de patients :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 44 patients sélectionnés</li> <li>- 13 éligibles d'après les critères d'inclusion de l'étude</li> <li>- 7 résultats analysés et 2 sortis de l'étude.</li> </ul> <p><u>Critères de sélection :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésions Incomplètes datant de plus de 6 mois</li> <li>- Plateau dans la récupération des fonctions</li> </ul> <p><u>Critères d'Inclusion :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 18 ans ou plus</li> <li>- Homme ou Femme non enceinte</li> <li>- Lésion d'au moins 6 mois</li> <li>- Taille entre 1,50 et 1,88m</li> <li>- Poids inférieur à 100kg</li> <li>- Capable de tenir debout 2 minutes avec ou sans une assistance et avec ou sans une orthèse du pied au genou</li> <li>- Capable de suivre des directives d'au moins 3 étapes</li> </ul> <p><u>Critères d'Exclusion :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Signes de pathologies associées :</li> </ul>
-------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atteinte neurologique périphérique,</li> <li>• Autre pathologie neurologique (sclérose, paralysie cérébrale, traumatisme crânien, AVC, etc)</li> <li>• Comorbidités (infections, problèmes circulatoires ou respiratoires, ulcères, maladie de peau</li> <li>• Ostéoporose des hanches ou de la colonne vertébrale</li> <li>• Spasticité importante (&gt;3 sur l'échelle d'Ashworth) ou clonus incontrôlé aux extrémités</li> <li>• Fracture non consolidée au bassin ou aux membres inférieurs</li> <li>• Restriction d'amplitude articulaire qui empêcherait le sujet de réaliser une marche physiologique ou un transfert assis-debout, debout-assis.</li> <li>• Faiblesse des membres supérieurs empêchant la possibilité d'équilibration avec des cannes anglaises ou un déambulateur</li> <li>• Ossification Hétérotopique empêchant les mouvements des membres inférieurs</li> <li>• Contraction avec déplacement &gt;15° aux hanches et &gt;20° au genoux</li> <li>• Troubles psychiatriques ou cognitifs</li> <li>• Colostomie</li> <li>• Participant à une autre étude interventionnelle dans les 3 mois précédant la participation à cette étude</li> </ul> <p>Consentement écrit donné par tous les participants</p>
<b>Intervention et Comparateur</b>	<p><u>Groupe Expérimental</u> (exoskeleton gait training, EGT) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 patients</li> <li>- Exercices de rééducation avec exosquelette : Assis-debout, équilibre statique et dynamique, transfert de poids, marche, demi-tour et debout-assis.</li> <li>- 5 sessions par semaine pendant 3 semaines, de 60 minutes de rééducation.</li> </ul> <p><u>Groupe Contrôle</u> (conventional physical therapy, CPT)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 patients</li> <li>- Exercices de rééducation : Etirements, renforcement, équilibre dynamique et statique, escaliers, assis-debout, et travail de marche.</li> <li>- 5 sessions par semaine pendant 3 semaines, de 60 minutes de rééducation.</li> </ul>
<b>Outcome (Critère de jugement)</b>	<p><u>Critères de jugement principaux</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ASIA LEMS</li> <li>- Test de Marche de 10 mètres (10-Meter Walk Test, 10MWT)</li> <li>- 6MWT</li> <li>- TUG</li> </ul> <p><u>Critères de jugement secondaires</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristiques de la marche (longueur du pas, du demi pas, cadence de marche, temps de la phase oscillante et posture).</li> </ul>
<b>Biais principaux de l'étude (PEDro)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biais de <u>sélection</u> (item 4)</li> <li>- Biais d'<u>évaluation</u> (item 5 et 6)</li> <li>- Biais de <u>suivi</u> (item 8)</li> <li>- Biais d'<u>attrition</u> (item 9)</li> <li>- Biais de <u>mesure</u> (item 10)</li> </ul>

### 8.7.2) Edwards2022

<b>Population</b>	<p><u>Nombre de patients :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 117 patients sélectionnés</li> <li>- 45 éligibles d'après les critères d'inclusion de l'étude</li> <li>- 33 participants à l'étude et 12 qui ont participé à la période de rodage (run-in)</li> <li>- 25 résultats analysés et 8 sortis de l'étude</li> </ul> <p><u>Critères d'Inclusion :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paraplégie ou Tétraplégie motrice incomplète depuis plus de 12 mois, traumatique ou non et de conditions stable</li> <li>- Lésion plutôt haute, autour de T10</li> <li>- Endurance diaphragmatique suffisante pour effectuer l'exercice sans trouble de la respiration</li> <li>- Force des membres supérieurs suffisante pour utiliser un déambulateur (triceps à 3/5 minimum et flexion, extension et abduction d'épaule à 4/5 minimum)</li> <li>- ASIA C ou D</li> <li>- Vitesse de marche inférieure à 0,44m/s avec ou sans aide humaine ou technique.</li> <li>- Capable d'avancer une jambe vers l'avant sans se servir du tronc entre les barres parallèles ou avec aide technique et/ou humaine.</li> <li>- Avoir entre 18 et 75 ans inclus</li> <li>- Pas d'autre pathologie neurologique</li> <li>- Bilanté et validé par un kinésithérapeute</li> <li>- Capable de tenir au moins 15 minutes en position dressée sans signe d'hypotension orthostatique</li> <li>- Poids inférieur à 100kg</li> <li>- Taille entre 1.50 et 1.90m</li> <li>- Largeur des hanches en position debout inférieure à 45cm</li> <li>- Pouvoir rentrer dans l'exosquelette de rééducation</li> <li>- Amplitude articulaire des hanches, genoux et chevilles quasi-normale</li> </ul> <p><u>Critères d'Exclusion :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ASIA A ou B</li> <li>- Atteinte neurologique périphérique</li> <li>- Participation à un programme de rééducation à la marche dans les 3 mois précédant l'étude</li> <li>- Capable de marcher à plus de 0,44m/s en autonomie avec ou sans assistance</li> <li>- Actuellement participant à une autre étude</li> <li>- Souffrant d'une autre pathologie neurologique en parallèle</li> <li>- Contraction avec déplacement &gt;17° en flexion de hanche et &gt;12° en flexion de genou</li> <li>- Instabilité de la colonne vertébrale</li> <li>- Thrombose veineuse profonde non stabilisée</li> <li>- Dysrétflexie autonome non contrôlée</li> <li>- Importantes douleurs musculaires ou osseuses</li> <li>- Spasticité &gt;3 sur l'échelle d'Ashworth pour au moins la moitié des muscles principaux des membres inférieurs (fléchisseurs, extenseurs et adducteurs de hanche et fléchisseurs et extenseurs de genou)</li> <li>- Problèmes de peau aux régions en contact avec l'exosquelette</li> <li>- Grossesse</li> <li>- Troubles cognitifs (impossibilité à suivre 2 étapes d'un travail ou défaut de communication)</li> <li>- Restriction d'amplitude en extension d'épaule gênant l'utilisation des cannes anglaises</li> <li>- Incapacité à se transférer en sécurité avec l'aide d'un seul thérapeute</li> <li>- Hypotension orthostatique non contrôlée limitant la station debout</li> <li>- Ossification hétérotopique ou dysplasie de hanche ou malformation de la hanche ou du genou</li> <li>- Colostomie</li> <li>- Ostéoporose et risque de fracture</li> <li>- Incapacité à suivre un traitement médicamenteux</li> </ul>
-------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toutes les raisons que le thérapeute jugerait dangereux pour le patient s'il devait s'engager ou continuer l'étude</li> </ul> <p>Consentement écrit donné par tous les participants</p>
<b>Intervention et Comparateur</b>	<p><u>Groupe Expérimental (Ekso Intervention) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 9 patients</li> <li>- Exercices de rééducation avec exosquelette : Marche avec un objectif de 300 pas minimum. Travail en progression 45 minutes de marche avec l'exosquelette, puis 30 minutes avec et 15 minutes sans l'exosquelette et sans suspension du poids du corps. Travail de montée d'escaliers et d'assis debout inclus.</li> <li>- 3 sessions par semaine pendant 12 semaines, 45 minutes de rééducation</li> </ul> <p><u>Groupe Contrôle Actif :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 patients</li> <li>- Exercices de rééducation à la marche : Marche avec un tapis de marche et une suspension du poids du corps (body weigh support, BWS) avec un objectif de 300 pas minimum. Travail en progression avec 45 minutes au départ, puis 30 minutes avec BWS et 15 minutes sans.</li> <li>- 3 sessions par semaine pendant 12 semaines, 45 minutes de rééducation</li> </ul> <p><u>Groupe Contrôle Passif :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 patients</li> <li>- Pas de rééducation spécifique pendant 12 semaines , pas de rééducation à la marche.</li> <li>- Sessions de rééducation avec exosquelette ou tapis de marche avec BWS offertes à la fin des 12 semaines d'étude</li> </ul>
<b>Outcome (Critère de jugement)</b>	<p><u>Critères de jugements principaux :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10MWT</li> </ul> <p><u>Critères de jugements secondaires :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- TUG</li> <li>- 6MWT</li> <li>- WISCI-II</li> </ul>
<b>Biais principaux de l'étude (PEDro)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biais d'évaluation (item 5 et 6)</li> <li>- Biais de suivi (item 8)</li> <li>- Biais d'attrition (item 9)</li> <li>- Biais de mesure (item 10)</li> </ul>

### 8.7.3) Gil-Agudo2023 :

<b>Population</b>	<p><u>Nombre de patients :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 23 patients sélectionnés</li> <li>- 23 éligibles d'après les critères d'inclusion de l'étude</li> <li>- 21 résultats analysés et 2 sortis de l'étude</li> </ul> <p><u>Critères d'inclusion :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Age compris entre 16 et 70 ans</li> <li>- Niveau de lésion entre C2 et L4</li> <li>- ASIA C ou D depuis moins de 12 mois</li> <li>- Force des membres supérieurs suffisante pour utiliser un déambulateur ou des cannes anglaises (triceps à 3/5 minimum)</li> </ul>
-------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capable de rester debout pendant une courte période</li> <li>- Spasticité &lt;2 sur l'échelle d'Asworth</li> </ul> <p><u>Critères d'exclusion :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grossesse</li> <li>- Autre troubles neurologiques que la lésion médullaire</li> <li>- Fracture du membre inférieur récente (&lt;1 ans)</li> <li>- Contracture irréductible</li> <li>- Articulation du membre inférieur bloquée</li> <li>- Ulcère ou problème de peau aux points de contact avec l'exosquelette.</li> </ul> <p>Consentement écrit donné par tous les participants</p>
<b>Intervention et Comparateur</b>	<p><u>Groupe expérimental :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 11 patients</li> <li>- Exercices de rééducation avec exosquelette : marche avec exosquelette sur sol stable et avec aide technique selon les choix du patients (barres parallèles, déambulateur ou cannes anglaises).</li> <li>- 3 séances par semaine pendant 5 semaines, de 30 minutes de rééducation</li> <li>- Feedback à la fin de la séance sur les performances du jour</li> </ul> <p><u>Groupe contrôle :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 patients</li> <li>- Exercices de rééducation à la marche classique : mobilisation, renforcement et marche entre les barres parallèles si possible.</li> <li>- 3 séances par semaine pendant 5 semaines, de 30 minutes de rééducation</li> </ul>
<b>Outcome (Critère de jugement)</b>	<p><u>Critères de jugements principaux :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- LEMS</li> <li>- 10MWT</li> <li>- TUG</li> <li>- 6MWT</li> <li>- WISCI-II</li> <li>- SCIM-III</li> </ul>
<b>Biais principaux de l'étude (PEDro)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biais <u>d'évaluation</u> (item 5 et 6)</li> <li>- Biais <u>d'attrition</u> (item 9)</li> </ul>

## 8.8) Echelle PEDro d'évaluation du risque de biais

### Echelle PEDro

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:

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

### Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

Tous les critères	<b>Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté.</b> 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.
Critère 1	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.
Critère 2	Une étude est considérée avoir utilisé une <i>répartition aléatoire</i> 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 lancé 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.
Critère 3	Une <i>assignation secrète</i> 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.
Critère 4	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.
Critères 4, 7-11	Les <i>critères de jugement</i> 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.
Critères 5-7	Être " <i>en aveugle</i> " 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.
Critère 8	Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement <i>à la fois</i> le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes <i>et</i> 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.
Critère 9	Une <i>analyse en intention</i> 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.
Critère 10	Une comparaison statistique <i>intergroupe</i> 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 "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
Critère 11	Une <i>estimation de l'effet</i> 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 <i>estimations de la variabilité</i> 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.

### **8.9) Echelle de Force Motrice : Lower Extremity Motor Score (LEMS) :**

Grade 0	No movement is observed
Grade 1	Only a trace or flicker of movement is seen or felt in the muscle, or fasciculation is observed
Grade 2	Movement is possible only if the resistance of gravity is removed
Grade 3	Movement against gravity is possible but not against resistance of the examiner
Grade 4	Muscle strength is reduced but muscle contraction can move joint against gravity and resistance
Grade 5	Muscle contracts normally against full resistance

## 8.10) Test de Marche de 6 minutes (TDM6 ou 6MWT):



| 2016

# Instructions | | Test de Marche de 6 Minutes

Le test de marche de 6 minutes est un test simple qui nécessite un couloir de 30 m, à l'intérieur, au calme, plat et droit. La distance à parcourir doit être de 30 mètres. Sur toute la distance des 30 mètres, des bandes adhésives de couleur seront placées tous les 3 mètres. Le changement de direction sera marqué par un cône. Certaines études ont utilisé des couloirs de 20 et 50 mètres.

Pour la réalisation du test, il est conseillé au participant de :

- porter des vêtements confortables,
- porter des chaussures de marche appropriées,
- utiliser leurs aides de marche habituelles durant le passage du test (orthèse, canne, etc.),
- prendre leurs traitements médicamenteux habituels,
- éviter de faire des efforts importants 2h avant le test.

Pour la réalisation du test, le clinicien pourra :

- Evaluer, chez le participant debout, la dyspnée au repos et la fatigue générale en utilisant l'échelle de Borg qui comprend 12 ou 15 niveaux et qui évalue l'effort perçu par le patient.
- Utiliser l'oxymétrie de pouls (optionnelle). Si elle est utilisée, la saturation et la fréquence cardiaque avant le début du test seront enregistrées.

En accord avec l'American Thoracic Society (ATS), les instructions seront données au participant de la manière suivante : *"Le but de ce test est de parcourir en marchant la plus grande distance possible en 6 minutes. Vous allez faire des allers-retours dans ce couloir durant 6 minutes. C'est un effort long que vous devrez gérer. Vous serez probablement essoufflés ou vous commencerez à être fatigué. Vous pouvez ralentir, vous arrêter, vous reposer si besoin. Vous pouvez vous reposer en vous appuyant contre un mur et repartir dès que vous en êtes capable. Vous ferez des allers et retours autour des cônes. Vous devrez tourner rapidement autour des cônes et de repartir dans l'autre sens sans hésitation."*

Faites une démonstration en faisant vous-même un tour. Marchez et tournez rapidement autour du cône. Alors, dites :

*"Êtes-vous prêt à faire pareil ? Je noterai chaque fois que vous passez la ligne de départ. Souvenez-vous que l'objectif du test est de marcher sur la plus grande distance possible en 6 minutes mais sans courir. Commencez maintenant ou dès que vous êtes prêt"*.

Le patient se positionne derrière la ligne de départ. Le praticien doit se tenir à côté de la ligne de départ durant le test. Le chronomètre est mis en route dès que le patient commence à marcher.

Il ne doit pas avoir aucune discussion pendant que le patient marche. Le même ton de voix doit être utilisé pour donner les phrases types d'encouragement (voir plus loin). Le patient doit être surveillé. Le clinicien doit rester concentré et ne pas perdre le compte des tours.



Après la première minute, vous direz au patient (sur le même ton) : " Vous vous débrouillez bien. Il vous reste 5 min"

Après 2 min, vous direz au patient : "Continuez c'est bien. Il vous reste 4 min"

Après 3 min, vous direz au patient : "Vous vous débrouillez bien. Il vous reste 3 min"

Après 4 min, vous direz au patient : "Continuez c'est bien. Il vous reste 2 min"

Après 5 min, vous direz au patient : "Vous vous débrouillez bien. Il vous reste 1 min"

D'autres mots ou d'autres formes d'encouragements seront évités.

A noter :

- Qu'il n'y a pas d'échauffement avant le test,
- Que 10 minutes avant le début du test, le participant doit être assis sur une chaise située à côté de la ligne de départ. Pendant ce temps, le clinicien recherche les contre-indications éventuelles (se reporter à la section des indications), contrôle que le patient porte des vêtements et des chaussures appropriés et complète la première partie de la fiche ci-dessous.

("ATS statement: guidelines for the six-minute walk test," 2002)

Les éléments suivants doivent être présents sur la fiche d'évaluation :

Compteur de tours (modèle) :

Nom du patient :

N° d'identification du patient :

N° essai de marche :

Evaluateur / Kinésithérapeute :

Date :

Sexe :

Appartenance ethnique :

Taille (en m) :

Poids (en kg) :

Tension artérielle :

Médicaments pris juste avant le test (dose et heure de la prise):

Ajout d'oxygène durant le test : Oui / Non. Débit : L/min

Valeurs en fin du test :

- Heure :
- Fréquence cardiaque :
- Essoufflement (échelle de borg)
- Fatigue (échelle de Borg)
- SpO2 : % %
- Arrêt ou pause avant la fin des 6 minutes : Oui / Non. Si oui, pourquoi ? .....

Autres symptômes à la fin du test : douleur poitrine, étourdissement, douleur hanche, jambe ou mollet

Nombre de tours (1 tour = 60 mètres) :

Distance réalisée lors du dernier tour (en mètres) :

Distance réalisée en 6 minutes (en mètres) :

Distance théorique : en mètres, % de distance théorique :

Interprétation (comprenant la comparaison avec les valeurs précédentes)

- Un compteur de tour électronique (ou un papier et stylo) doit être utilisé pour compter le nombre de tour que le participant peut faire en 6 minutes

---

Une fois le test terminé,

- Le participant devra évaluer son essoufflement et sa fatigue générale en utilisant l'échelle de Borg
- La question suivante lui sera posée : « *Avez-vous été limité par quelque chose pour marcher plus ?* »
- Si vous utilisez un oxymètre de pouls, mesurez la saturation O<sub>2</sub> (SpO<sub>2</sub>) et la fréquence cardiaque puis retirez le capteur.
- Le nombre de tours doit être reporté sur la fiche
- La distance totale parcourue, arrondie au mètre près doit être calculée et inscrite sur la fiche de report
- La participant sera félicité pour ses efforts et devra s'hydrater avec de l'eau (s'il n'y a pas de contre-indication due à une dysphagie).

**La cotation :**

- Utiliser un compteur de tour ou un papier crayon pour enregistrer le nombre tours que le patient peut faire en 6 minutes.
- La distance parcourue, le nombre et la durée des pauses pendant les 6 minutes seront évalués.
- Les scores sont compris entre 0 mètre ou équivalent pour les participants qui ne marchent pas et la limite biologique maximale pour un sujet adulte sain (environ 900 mètres).

Traduction : Jean-Philippe Regnaud, Antoine Zaczek



PAYAN Sylvian D.E.M.K. Marseille 2023

## 8.11) Timed Up and Go test (TUG) :

### ASSESSMENT

# Timed Up & Go (TUG)

**Purpose:** To assess mobility

**Equipment:** A stopwatch

**Directions:** Patients wear their regular footwear and can use a walking aid, if needed. Begin by having the patient sit back in a standard arm chair and identify a line 3 meters, or 10 feet away, on the floor.

#### ① Instruct the patient:

When I say "Go," I want you to:

1. Stand up from the chair.
2. Walk to the line on the floor at your normal pace.
3. Turn.
4. Walk back to the chair at your normal pace.
5. Sit down again.

**NOTE:**  
Always stay by the patient for safety.

#### ② On the word "Go," begin timing.

#### ③ Stop timing after patient sits back down.

#### ④ Record time.

Time in Seconds: \_\_\_\_\_

An older adult who takes  $\geq 12$  seconds to complete the TUG is at risk for falling.

CDC's STEADI tools and resources can help you screen, assess, and intervene to reduce your patient's fall risk. For more information, visit [www.cdc.gov/steadi](http://www.cdc.gov/steadi)

Patient \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Time \_\_\_\_\_  AM  PM

### OBSERVATIONS

Observe the patient's postural stability, gait, stride length, and sway.

#### Check all that apply:

- Slow tentative pace
- Loss of balance
- Short strides
- Little or no arm swing
- Steadying self on walls
- Shuffling
- En bloc turning
- Not using assistive device properly

These changes may signify neurological problems that require further evaluation.



Centers for Disease Control and Prevention  
National Center for Injury Prevention and Control

2017

**STEADI** Stopping Elderly Accidents, Deaths & Injuries

## 8.12) Walking Index for Spinal Cord Injury II (WISCI-II)

Nom du patient : ..... Date de naissance : .... / .... / .....

Prénom : ..... Date de l'examen : .... / .... / .....

# Walking Index for Spinal Cord Injury (WISCI II) : scale revision

Niveau	AT	Orthèse	Assistance	Distance
0				Impossible
1	Barres parallèles	Orthèse	2 personnes	Moins de 10 mètres
2	Barres parallèles	Orthèse	2 personnes	10 mètres
3	Barres parallèles	Orthèse	1 personne	10 mètres
4	Barres parallèles	Pas d'orthèse	1 personne	10 mètres
5	Barres parallèles	Orthèse	Pas d'aide	10 mètres
6	Déambulateur	Orthèse	1 personne	10 mètres
7	2 cannes anglaises	Orthèse	1 personne	10 mètres
8	Déambulateur	Pas d'orthèse	1 personne	10 mètres
9	Déambulateur	Orthèse	Pas d'aide	10 mètres
10	1 canne anglaise/canne simple	Orthèse	1 personne	10 mètres
11	2 cannes anglaises	Pas d'orthèse	1 personne	10 mètres
12	2 cannes anglaises	Orthèse	Pas d'aide	10 mètres
13	Déambulateur	Pas d'orthèse	Pas d'aide	10 mètres
14	1 canne anglaise/canne simple	Pas d'orthèse	1 personne	10 mètres
15	1 canne anglaise/canne simple	Orthèse	Pas d'aide	10 mètres
16	2 cannes anglaises	Pas d'orthèse		10 mètres
17	Pas AT	Pas d'orthèse	1 personne	10 mètres
18	Pas AT	Orthèse	Pas d'aide	10 mètres
19	1 canne anglaise/canne simple	Pas d'orthèse	Pas d'aide	10 mètres
20	Pas AT	Pas d'orthèse	Pas d'aide	10 mètres

Nom du patient : ..... Date de naissance : .... / .... / .....

Prénom : ..... Date de l'examen : .... / .... / .....

<b>0</b>	Le sujet ne peut se tenir debout et/ou participer à une marche assistée.
<b>1</b>	Déambule dans les barres parallèles, avec orthèses et l'aide physique de deux personnes, sur moins de 10 m.
<b>2</b>	Déambule dans les barres parallèles, avec orthèses et l'aide physique de deux personnes, sur 10 m.
<b>3</b>	Déambule dans les barres parallèles, avec orthèses et l'aide physique d'une personne, sur 10 m.
<b>4</b>	Déambule dans les barres parallèles, sans orthèses et avec l'aide physique d'une personne, sur 10 m.
<b>5</b>	Déambule dans les barres parallèles, avec orthèses sans aide d'un tiers, sur 10 m.
<b>6</b>	Déambule avec un déambulateur, avec orthèses et l'aide physique d'une personne, sur 10 m.
<b>7</b>	Déambule avec deux cannes anglaise, avec orthèses et l'aide physique d'une personne, sur 10 m.
<b>8</b>	Déambule avec un déambulateur, sans orthèses et avec l'aide physique d'une personne, sur 10 m.
<b>9</b>	Déambule avec un déambulateur, avec orthèses sans aide d'un tiers, sur 10 m.
<b>10</b>	Déambule avec une canne anglaise/canne, avec orthèses, avec l'aide physique d'une personne, sur 10 m.
<b>11</b>	Déambule avec deux cannes anglaises, sans orthèses et l'aide physique d'une personne, sur 10 m.
<b>12</b>	Déambule avec deux cannes anglaises, avec orthèses et sans aide d'un tiers, sur 10 m.
<b>13</b>	Déambule avec un déambulateur, sans orthèses et sans aide d'un tiers, sur 10 m.
<b>14</b>	Déambule avec une canne anglaise/canne, sans orthèses et avec l'aide d'une personne, sur 10 m.
<b>15</b>	Déambule avec une canne anglaise/canne, avec orthèses et sans aide d'un tiers, sur 10 m.
<b>16</b>	Déambule avec deux cannes anglaises, sans orthèses et sans aide d'un tiers, sur 10 m.
<b>17</b>	Déambule sans aide technique, sans orthèses et avec l'aide d'une personne, sur 10 m.
<b>18</b>	Déambule sans aide technique, avec orthèses et sans aide d'un tiers, sur 10m.
<b>19</b>	Déambule avec une canne anglaise/canne, sans orthèses et sans aide d'un tiers, sur 10 m.
<b>20</b>	Déambule sans aide technique, sans orthèses et sans aide d'un tiers, sur 10m.

**8.13) Calculs de la taille d'effet et de l'intervalle inter quartiles pour le 6MWT et pour le TUG dans l'étude de Edwards2022 [62]**

NMD = Différence des médianes / Sommes des médianes

	6MWT			TUG		
	Médiane Intervention	Médiane Contrôle Actif	Médiane Contrôle Passif	Médiane Intervention	Médiane Contrôle Actif	Médiane Contrôle Passif
	538 ft	346,6 ft	320 ft	26,4 s	30 s	46 s
NMD	Intervention / CA		Intervention / CP	Intervention / CA		Intervention / CP
	0,22		0,25	-0,06		-0,27

Interquartiles = Quartile 3 – Quartile 1

	6MWT			TUG		
	Intervention	Contrôle Actif	Contrôle Passif	Intervention	Contrôle Actif	Contrôle Passif
Q1	268 ft	219,5 ft	148,8 ft	17,3 s	26 s	29 s
Q3	687,3 ft	711,5 ft	466,6 ft	53 s	70,7 s	64,9 s
Interquartiles	419,3 ft	492 ft	317,8 ft	35,7 s	44,7 s	35,9 s

Les valeurs de médianes et d'interquartiles pour le 6MWT sont données en unités anglosaxonnes : le pied (feet) et en secondes pour le TUG.

**8.14) Tableaux des valeurs de l'échelle WISCI-II pour le groupe intervention dans l'étude de Gil-Agudo2023 [63]**

11 patients	Pré-intervention( baseline)	Post-intervention
Listes des scores	13, 3, 6, 16, 4, 6, 8, 12, 6, 9, 9	16, 4, 13, 16, 5, 13, 16, 15, 6, 12, 12
Moyenne (écart-types)	8,36 (3,79)	11,64 (4,33)
Moyenne des Différence entre pré-post (écart-type)	3,28 (4,07)	

8.15) Grille AMSTAR 2 (A MeSurement Tool to Assess systematic Reviews)

AMSTAR 2		
<p><b>1. Did the research questions and inclusion criteria for the review include the components of PICO?</b></p>		
<p>For Yes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Population</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Intervention</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Comparator group</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Outcome</li> </ul>	<p>Optional (recommended)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Timeframe for follow-up</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Yes</li> <li><input type="checkbox"/> No</li> </ul>
<p><b>2. Did the report of the review contain an explicit statement that the review methods were established prior to the conduct of the review and did the report justify any significant deviations from the protocol?</b></p>		
<p>For Partial Yes: The authors state that they had a written protocol or guide that included ALL the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> review question(s)</li> <li><input type="checkbox"/> a search strategy</li> <li><input type="checkbox"/> inclusion/exclusion criteria</li> <li><input type="checkbox"/> a risk of bias assessment</li> </ul>	<p>For Yes: As for partial yes, plus the protocol should be registered and should also have specified:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> a meta-analysis/synthesis plan, if appropriate, <i>and</i></li> <li><input type="checkbox"/> a plan for investigating causes of heterogeneity</li> <li><input type="checkbox"/> justification for any deviations from the protocol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Yes</li> <li><input type="checkbox"/> Partial Yes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> No</li> </ul>
<p><b>3. Did the review authors explain their selection of the study designs for inclusion in the review?</b></p>		
<p>For Yes, the review should satisfy ONE of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> <i>Explanation for including only RCTs</i></li> <li><input type="checkbox"/> OR <i>Explanation for including only NRSI</i></li> <li><input type="checkbox"/> OR <i>Explanation for including both RCTs and NRSI</i></li> </ul>		
<p><b>4. Did the review authors use a comprehensive literature search strategy?</b></p>		
<p>For Partial Yes (all the following):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> searched at least 2 databases (relevant to research question)</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> provided key word and/or search strategy</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> justified publication restrictions (eg, language)</li> </ul>	<p>For Yes, should also have (all the following):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> searched the reference lists/bibliographies of included studies</li> <li><input type="checkbox"/> searched trial/study registries</li> <li><input type="checkbox"/> included/consulted content experts in the field</li> <li><input type="checkbox"/> where relevant, searched for grey literature</li> <li><input type="checkbox"/> conducted search within 24 months of completion of the review</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Yes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Partial Yes</li> <li><input type="checkbox"/> No</li> </ul>
<p><b>5. Did the review authors perform study selection in duplicate?</b></p>		
<p>For Yes, either ONE of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> at least two reviewers independently agreed on selection of eligible studies and achieved consensus on which studies to include</li> <li><input type="checkbox"/> OR two reviewers selected a sample of eligible studies <u>and</u> achieved good agreement (at least 80 per cent), with the remainder selected by one reviewer</li> </ul>		
<p><b>6. Did the review authors perform data extraction in duplicate?</b></p>		
<p>For Yes, either ONE of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> at least two reviewers achieved consensus on which data to extract</li> </ul>		

<input type="checkbox"/> from included studies <input type="checkbox"/> OR two reviewers extracted data from a sample of eligible studies <b>and</b> achieved good agreement (at least 80 per cent), with the remainder extracted by one reviewer		<input checked="" type="checkbox"/> No
<b>7. Did the review authors provide a list of excluded studies and justify the exclusions?</b>		
<b>For Partial Yes:</b> <input checked="" type="checkbox"/> provided a list of all potentially relevant studies that were read in full text form but excluded from the review	<b>For Yes, must also have:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Justified the exclusion from the review of each potentially relevant study	<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No
<b>8. Did the review authors describe the included studies in adequate detail?</b>		
<b>For Partial Yes (ALL the following):</b> <input checked="" type="checkbox"/> described populations <input checked="" type="checkbox"/> described interventions <input checked="" type="checkbox"/> described comparators <input checked="" type="checkbox"/> described outcomes <input checked="" type="checkbox"/> described research designs	<b>For Yes, should also have ALL the following:</b> <input type="checkbox"/> described population in detail <input type="checkbox"/> described intervention and comparator in detail (including doses where relevant) <input type="checkbox"/> described study's setting <input type="checkbox"/> timeframe for follow-up	<input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No
<b>9. Did the review authors use a satisfactory technique for assessing the risk of bias (RoB) in individual studies that were included in the review?</b>		
<b>RCTs</b> <b>For Partial Yes, must have assessed RoB from</b> <input checked="" type="checkbox"/> un concealed allocation, <i>and</i> <input checked="" type="checkbox"/> lack of blinding of patients and assessors when assessing outcomes (unnecessary for objective outcomes such as all cause mortality)		
<b>For Yes, must also have assessed RoB from:</b> <input checked="" type="checkbox"/> allocation sequence that was not truly random, <i>and</i> <input checked="" type="checkbox"/> selection of the reported result from among multiple measurements or analyses of a specified outcome		
<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Includes only NRSI		
<b>NRSI</b> <b>For Partial Yes, must have assessed RoB:</b> <input type="checkbox"/> from confounding, <i>and</i> <input type="checkbox"/> from selection bias		
<b>For Yes, must also have assessed RoB:</b> <input type="checkbox"/> methods used to ascertain exposures and outcomes, <i>and</i> <input type="checkbox"/> selection of the reported result from among multiple measurements or analyses of a specified outcome		
<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> Partial Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Includes only RCTs		
<b>10. Did the review authors report on the sources of funding for the studies included in the review?</b>		
<b>For Yes</b> <input checked="" type="checkbox"/> Must have reported on the sources of funding for individual studies included in the review. Note: Reporting that the reviewers looked for this information but it was not reported by study authors also qualifies		
<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		
<b>11. If meta-analysis was performed did the review authors use appropriate methods for statistical combination of results?</b>		
<b>RCTs</b> <b>For Yes:</b> <input checked="" type="checkbox"/> The authors justified combining the data in a meta-analysis <input type="checkbox"/> AND they used an appropriate weighted technique to combine study results and adjusted for heterogeneity if present		
<input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No meta-analysis		

<input type="checkbox"/> AND investigated the causes of any heterogeneity	conducted
<b>For NRSI</b>	
For Yes:	
<input type="checkbox"/> The authors justified combining the data in a meta-analysis	<input type="checkbox"/> Yes
<input type="checkbox"/> AND they used an appropriate weighted technique to combine study results, adjusting for heterogeneity if present	<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> AND they statistically combined effect estimates from NRSI that were adjusted for confounding, rather than combining raw data, or justified combining raw data when adjusted effect estimates were not available	<input type="checkbox"/> No meta-analysis conducted
<input type="checkbox"/> AND they reported separate summary estimates for RCTs and NRSI separately when both were included in the review	
<b>12. If meta-analysis was performed, did the review authors assess the potential impact of RoB in individual studies on the results of the meta-analysis or other evidence synthesis?</b>	
For Yes:	
<input type="checkbox"/> included only low risk of bias RCTs	<input type="checkbox"/> Yes
<input type="checkbox"/> OR, if the pooled estimate was based on RCTs and/or NRSI at variable RoB, the authors performed analyses to investigate possible impact of RoB on summary estimates of effect	<input checked="" type="checkbox"/> No
	<input type="checkbox"/> No meta-analysis conducted
<b>13. Did the review authors account for RoB in individual studies when interpreting/discussing the results of the review?</b>	
For Yes:	
<input type="checkbox"/> included only low risk of bias RCTs	<input checked="" type="checkbox"/> Yes
<input checked="" type="checkbox"/> OR, if RCTs with moderate or high RoB, or NRSI were included the review provided a discussion of the likely impact of RoB on the results	<input type="checkbox"/> No
<b>14. Did the review authors provide a satisfactory explanation for, and discussion of, any heterogeneity observed in the results of the review?</b>	
For Yes:	
<input type="checkbox"/> There was no significant heterogeneity in the results	<input checked="" type="checkbox"/> Yes
<input checked="" type="checkbox"/> OR if heterogeneity was present the authors performed an investigation of sources of any heterogeneity in the results and discussed the impact of this on the results of the review	<input type="checkbox"/> No
<b>15. If they performed quantitative synthesis did the review authors carry out an adequate investigation of publication bias (small study bias) and discuss its likely impact on the results of the review?</b>	
For Yes:	
<input type="checkbox"/> performed graphical or statistical tests for publication bias and discussed the likelihood and magnitude of impact of publication bias	<input type="checkbox"/> Yes
	<input checked="" type="checkbox"/> No
	<input type="checkbox"/> No meta-analysis conducted
<b>16. Did the review authors report any potential sources of conflict of interest, including any funding they received for conducting the review?</b>	
For Yes:	
<input checked="" type="checkbox"/> The authors reported no competing interests OR	<input checked="" type="checkbox"/> Yes
<input type="checkbox"/> The authors described their funding sources and how they managed potential conflicts of interest	<input type="checkbox"/> No

## L'INTÉRÊT DES EXOSQUELETES DANS LA RÉÉDUCATION À LA MARCHÉ CHEZ LES PATIENTS BLESSÉS MÉDULLAIRES INCOMPLETS : UNE REVUE SYSTEMATIQUE DE LITTERATURE

## THE INTEREST OF EXOSKELETONS FOR GAIT REHABILITATION IN INCOMPLETE SPINAL CORD INJURY : A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

### Résumé :

**Introduction** : La lésion médullaire touche près de 2000 personnes par an en France, causant de nombreuses conséquences sur les grandes fonctions du corps. La plus fréquente est la perte motrice entraînant la perte de la marche. La récupération motrice est souvent le premier objectif pour les patients blessés médullaires et il existe de multiples possibilités de rééducation. **Objectif** : Le but de cette revue est d'évaluer si la rééducation avec l'exosquelette augmente les capacités de marche des patients victimes de lésions médullaires incomplètes comparé à la rééducation standard. **Méthode** : Une recherche d'articles scientifiques dans les bases de données électroniques (PubMed et PEDro) a été effectuée, permettant de sélectionner 8 articles sur la base de critères d'inclusion et d'exclusion précis et en accord avec le modèle PICO. Après lecture complète des articles, seuls 3 articles ont été inclus dans la synthèse finale. **Résultats** : Des 3 articles inclus ont été extraits les résultats pour les critères de jugement de la force musculaire (LEMS), de l'endurance de marche (TDM6), de la mobilité fonctionnelle (TUG) et de l'autonomie de marche (WISCI-II). **Discussion** : Les résultats semblent montrer que l'effet de l'intervention n'est pas supérieur aux traitements standards pour la récupération motrice, et cela pour chacun des critères de jugement. Qui plus est, en prenant en compte la faible qualité de preuve et les limites de cette revue, il n'est pas possible de présenter une conclusion fiable. **Conclusion** : Même si les résultats tendent vers une amélioration des capacités de marche, la qualité de preuve et les limites de cette revue ne permettent pas d'affirmer l'efficacité de celui-ci. Des études de meilleures qualités sur le sujet doivent être réalisées.

### Abstract :

**Introduction** : Spinal cord injury affects nearly 2,000 people each year in France, with many consequences for major body functions. The most frequent is the loss of motor skills which leads to the loss of walking abilities. Motor recovery is often the primary goal for spinal-cord injured patients and it can be achieved with multiple axes of rehabilitation. **Aim** : The study aims to determine whether exoskeleton rehabilitation increases the walking ability of patients with incomplete spinal cord injury compared to standard rehabilitation. **Method** : A search for scientific articles in electronic databases (PubMed and PEDro) was carried out, allowing 8 articles to be selected based on precise inclusion and exclusion criteria and in accordance with the PICO model. After full reading of the articles, only 3 articles were included in the final synthesis. **Results** : From the 3 included articles, results were extracted for each outcome which are muscle strength (LEMS), walking endurance (6MWT), functional mobility (TUG) and walking independence (WISCI-II). **Discussion** : The results presented seem to show that the effect of the intervention is not superior to standard treatments for motor recovery for each of the outcome measures. Furthermore, taking into account the low quality of evidence and the limitations of this review, it is not possible to present a reliable conclusion. **Conclusion** : Although the results tend to improve walking abilities, the quality of evidence and the limitations of this review do not allow us to affirm its effectiveness. Better quality studies on the subject should be carried out.

**Mots clés** : Lésion Médullaire Incomplète, Paraplégie, Exosquelette, Marche, Déambulation.

**Keywords** : Incomplete Spinal Cord Injury (iSCI), Paraplegia, Exoskeleton, Walking, Ambulation.