

## Table des matières

<b>1. Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Contexte général	1
<b>2. Cadre théorique</b>	<b>2</b>
2.1 Définition de l'accident vasculaire cérébral	2
2.2 Définition de la lésion médullaire	3
2.3 Définition des exosquelettes	5
2.4 Résumé de la problématique	7
2.5 But de l'étude	8
2.6 Question de recherche	8
<b>3. Méthode</b>	<b>9</b>
3.1 Critères d'éligibilité	9
3.2 Sources d'information	9
3.3 Recherche	9
3.4 Sélection des études	9
3.5 Evaluation de la qualité des études	10
3.6 Extraction des données des études incluses	11
3.7 Données	11
3.8 Risques de biais inhérents à chacune des études	11
3.9 Remarque	12
<b>4. Résultats</b>	<b>13</b>
4.1 Sélection des études	13
4.2 Caractéristiques des études sélectionnées	14
4.3 Evaluation de la qualité des études	17
4.4 Résultats de chaque étude	17
4.5 Synthèse des résultats	21
<b>5. Discussion</b>	<b>23</b>
5.1 Interprétation des résultats	23
5.2 Forces et limites	29
<b>6. Conclusion</b>	<b>30</b>
<b>7. Financement</b>	<b>31</b>
<b>8. Références</b>	<b>I</b>
<b>9. Liste des illustrations et tableaux</b>	<b>VI</b>
<b>10. Annexes</b>	<b>VII</b>

## Abbreviations

6MWT : 6-Minutes Walking Test, Test de 6 minutes de marche

10MWT : 10-Meter Walk Test, Test de 10 mètres de marche

ARGO® : Advanced Reciprocating Gait Orthosis®

ASIA : American Spinal Injury Association

AVC : Accident vasculaire cérébral

AVQ : Activités de la vie quotidienne

BBS : Berg Balance Scale

EPFL : Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

FAC : Functional Ambulation Category

FM-LE : Fulg-Meyer assessment for Lower Extremity

HAL® : Hybrid Assistiv Limb®

HULC™ : Human Universal Load Carrier™

LME : Lésion de la moelle épinière

OMS : Organisation mondiale de la santé

SNC : Système nerveux central

TUG : Time-Up-and-Go

## 1. Introduction

### 1.1 Contexte général

En Europe, on observe approximativement 1.1 million de nouveaux cas d'accidents vasculaires cérébraux (AVC) par année et 19.4 cas de lésions de la moelle épinière (LME) par million d'habitants, par année (Béjot, Bailly, Durier, & Giroud, 2016 ; Moulin, 2010). Ces lésions neurologiques peuvent avoir des conséquences directes sur les capacités des patients à se déplacer (Federici, Meloni, Bracalenti, & De Filippis, 2015). Pour ces patients, la récupération de la marche est une priorité car leur handicap les contraint à utiliser, dans leur vie quotidienne, des moyens auxiliaires tels qu'une chaise roulante ou parfois des cannes anglaises (Federici et al., 2015 ; Lajeunesse, Vincent, Routhier, Careau, & Michaud, 2016 ; Miller, Zimmermann, & Herbert, 2016). Les positions prolongées induites par l'immobilité de ces personnes peuvent provoquer de l'hypertension, de l'ostéoporose ou encore des escarres limitant les activités quotidiennes et affectant leur épanouissement social (Federici et al., 2015 ; Lajeunesse et al., 2016). Différentes modalités de rééducation à la marche existent en neuroréhabilitation pour augmenter la mobilité, telles que les exosquelettes. Techniques de mobilité innovantes, ils ont été développés dans le domaine de la robotique au cours des dernières années. Leur application chez des personnes à mobilité réduite s'observe soit en communauté comme assistance à la marche permettant aux utilisateurs de se déplacer, se tenir debout, monter et descendre les escaliers et exécuter des activités de la vie quotidienne (AVQ), soit dans un contexte thérapeutique lors d'une rééducation à la marche (Lajeunesse et al., 2016 ; Miller et al., 2016 ; Swinnen, Duerinck, Baeyens, Meeusen, & Kerckhofs, 2010).

Les patients atteints d'un accident vasculaire cérébral ont besoin d'une rééducation, car 70% à 80% d'entre eux présentent des troubles de la marche deux semaines après l'accident (Langhammer et al., 2017 ; Lyrer, 2000). Au vu du vieillissement de la population et de l'amélioration de la prise en charge de la maladie par le domaine médical, nous devons nous attendre, ces prochaines années, à une augmentation du nombre d'individus souffrant d'un AVC et donc du handicap qui en résulte (Béjot et al., 2016). Retrouver et maintenir l'autonomie ainsi qu'intégrer la maladie au mode de vie est une des préoccupations de ces patients (Bachman, Burla, & Kohler, 2015). Actuellement, en Suisse, le taux d'accidents vasculaires cérébraux est de 296.3 cas pour 100'000 habitants, soit environ 16'000 personnes touchées par année (Meyer, Simmet, Arnold, Mattle, &

Nedeltchev, 2009). Au niveau européen, on observe 95 à 290 cas pour 100'000 habitants par an (Béjot et al., 2016).

En ce qui concerne les lésions de la moelle épinière, il est plus difficile d'estimer la prévalence mondiale de par le peu de données disponibles et des différences méthodologiques entre les recensements (Organisation mondiale de la santé et al., 2014). L'incidence de cette pathologie est toutefois estimée entre 10.4 et 83 cas par million d'habitants par an au niveau mondial. Dans les pays industrialisés, on dénombre entre 30 et 45 cas par million d'habitants par an (Moulin, 2010 ; Wyndaele & Wyndaele, 2006). Les jeunes sont les plus touchés par ces lésions de la moelle épinière, viennent ensuite les personnes âgées davantage sujettes à des chutes de faible hauteur, pouvant amener à de telles lésions. Cette population est aussi exposée aux lésions non-traumatiques en constante hausse. Au vu de l'augmentation de l'espérance de vie, le nombre total de ces accidents est croissant et génère une demande accrue en soins (Organisation mondiale de la santé et al., 2014).

## **2. Cadre théorique**

### **2.1 Définition de l'accident vasculaire cérébral**

Selon la définition de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'accident vasculaire cérébral survient suite à l'arrêt de la circulation sanguine dans le cerveau, entraînant des dommages au système nerveux central (SNC). Ces atteintes provoquées par l'interruption de l'apport en nutriments et en oxygène entraînent un déficit neurologique. Pour une durée des symptômes inférieure à 24 heures, l'OMS qualifie cette atteinte d'accident ischémique transitoire. A contrario, des signes cliniques persistants révèlent la présence d'un accident vasculaire cérébral par un infarctus du SNC au niveau cérébral, rachidien ou rétinien. L'AVC est diagnostiqué par la durée des signes cliniques, par les données récoltées auprès du patient ainsi que par l'imagerie cérébrale. Les résultats de l'imagerie cérébrale permettent d'exclure les mimiques d'accidents vasculaires cérébraux qui présentent les mêmes symptômes que l'AVC mais qui sont provoquées par des hématomes sous-duraux ou par des tumeurs cérébrales. Ils permettent également de différencier un AVC ischémique ou hémorragique. Ce premier est dû à une obstruction des vaisseaux irrigant le cerveau, alors que l'AVC hémorragique est causé par une agglomération de sang intracrânienne focalisée d'origine atraumatique. Bien que les causes soient différentes, les symptômes de ces deux affections sont semblables (« AVC ischémique et hémorragique: Fragile Suisse », n.d. ; « OMS | Accident vasculaire cérébral

(AVC) », n.d. ; Sacco et al., 2013 ; « WHO EMRO | Accident vasculaire cérébral | Thèmes de santé », n.d.).

Les symptômes les plus courants sont la paralysie unilatérale d'un ou plusieurs membres ou du visage. L'AVC peut également provoquer des pertes de la parole ou de la vision, une confusion mentale, des troubles de la marche et de l'équilibre ainsi que des céphalées et des pertes de conscience. Les effets d'un AVC dépendent de la zone du cerveau touchée ainsi que de la gravité de l'affection et peuvent entraîner la mort. (« OMS | Accident vasculaire cérébral (AVC) », n.d., « WHO EMRO | Accident vasculaire cérébral | Thèmes de santé »).

## 2.2 Définition de la lésion médullaire

La colonne vertébrale renferme la moelle épinière qui s'étend du cerveau jusqu'aux vertèbres lombaires et s'arrête dans le cône médullaire. Elle se divise en différents segments se rapportant aux racines nerveuses qui passent entre chaque vertèbre. Lors d'un traumatisme à ce niveau, on parle de lésion médullaire ou lésion de la moelle épinière (« OMS | Lésions de la moelle épinière », 2013 ; Organisation mondiale de la santé et al., 2014).

Les lésions de la moelle épinière peuvent être d'origine traumatique ou atraumatique et se révèlent plus fréquentes chez les hommes que chez les femmes. Les causes des atteintes dues à un traumatisme sont diverses : chutes, accidents de voiture, accidents de travail, accidents de sport ou encore violences. Au contraire, les lésions médullaires non traumatiques reflètent souvent une autre pathologie telle qu'une tumeur, une maladie infectieuse, une maladie musculo-squelettique ou des problèmes congénitaux comme le spina-bifida qui résulte d'une modification du tube neural lors du développement de l'embryon. Néanmoins, les principales causes atraumatiques sont les tumeurs néoplasiques et maladies dégénératives de la colonne, les troubles vasculaires et les maladies auto-immunes. Les cas de LME traumatiques sont plus fréquents que les cas non traumatiques, bien que ces derniers soient en constante augmentation ces dernières années. Cet accroissement s'explique par l'augmentation du vieillissement de la population et par le fait que les personnes âgées sont les plus touchées par ces LME. A contrario, les lésions traumatiques touchent plus particulièrement les jeunes (« OMS | Lésions de la moelle épinière », 2013 ; Organisation mondiale de la santé et al., 2014).

Les signes cliniques dépendent de l'étage de la lésion, de sa cause ou encore de son étendue. Les symptômes peuvent affecter les fonctions intestinales, sexuelles et vésicales,

les fonctions motrices et sensorielles des membres inférieurs, le contrôle du tronc et des muscles abdominaux, la régulation de la température, les fonctions motrices et sensorielles des membres supérieurs, le contrôle des pulsations cardiaques, la respiration et les mouvements de la tête et du cou ainsi que les fonctions de régulation autonomes. Le niveau de la lésion vertébrale définit les troubles associés. En effet, plus la lésion est haute, plus les déficits seront importants. Les lésions de la moelle épinière sont également définies comme « complètes » ou « incomplètes ». Selon la classification de l’American Spinal Injury Association (ASIA) présentée dans le tableau ci-dessous (tableau I), une lésion médullaire complète est caractérisée par l’absence de fonctions motrices et sensorielles dans le segment sacral 4 et 5 (S4-S5) (ASIA, 2004 ; Organisation mondiale de la santé et al., 2014).

A	Complète	Aucune activité motrice ou sensibilité dans le territoire S4-S5
B	Incomplète	La sensibilité mais pas la motricité préservée au-dessous du niveau lésionnel, en particulier dans le territoire S4-S5
C	Incomplète	La motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score de < 3
D	Incomplète	La motricité est préservée au-dessous du niveau lésionnel et plus de la moitié des muscles testés au-dessous de ce niveau a un score de $\geq$ 3
E	Normale	La sensibilité et la motricité sont normales

Tableau I : classification neurologique des lésions médullaires basée sur Score ASIA (ASIA, 2004)

Le taux de décès après une lésion de la moelle épinière est plus élevé durant la première année après l’accident. Les personnes atteintes de LME ont une espérance de vie inférieure au reste de la population bien que ce chiffre soit en constante augmentation grâce aux améliorations des prises en charge médicales. Le risque de mortalité dépend principalement de la gravité de l’atteinte et du niveau de la lésion médullaire. Les causes de mortalité des LME diffèrent entre les pays à hauts revenus, dans lesquels ces pathologies sont rarement la cause directe du décès et les pays à faibles revenus, où les

causes principales de décès sont les complications urinaires et les escarres (« OMS | Lésions de la moelle épinière », 2013 ; Organisation mondiale de la santé et al., 2014).

### 2.3 Définition des exosquelettes

Le terme exosquelette a été défini scientifiquement pour la première fois par Neil J. Mizen et al. (1969) de l'Université Cornell au Etats-Unis en 1969 : « *un exosquelette est une structure mécanique externe qui a la forme du corps humain, qui dispose de moins de degrés de liberté que l'être humain, et qui peut accomplir la plupart des tâches désirées* ». Cette définition des exosquelettes reste actuelle à ce jour, bien que beaucoup de progrès ont été effectués dans leur conceptualisation. Ils peuvent être conçus pour les membres supérieurs, les membres inférieurs ou le corps entier. Leur application varie en fonction des besoins et touche ainsi différents domaines : premièrement au niveau thérapeutique, deuxièmement comme assistance à la marche pour les personnes dépendantes ayant des difficultés dans les activités de la vie quotidienne, troisièmement dans l'armée pour diverses opérations militaires et finalement dans le domaine industriel principalement à des fins ergonomiques (Hassani, 2014 ; Mizen, 1969).

Dans la littérature, nous distinguons deux grands types d'exosquelettes : les robots non-mobiles et les robots portables (over ground robots en anglais) (Chen, Chan, Guo, & Yu, 2013).

Trois catégories subdivisent les robots de marche non-mobiles : les tapis de marche avec soutien du poids corporel (par exemple ZeroG Body-Weight Support Treadmill System®) ; les tapis de marche avec soutien du poids corporel et un exosquelette (par exemple Lokomat®, LOPES®, ReoAmbulator™) ; les plateformes pour pieds avec soutien du poids corporel (par exemple Gait Trainer GTI™, GaitMaster™, LokoHelp®) (Chen et al., 2013 ; « ZeroG Body-Weight Support Treadmill System I BWSTT », n.d.).

Les robots de marche portables se déclinent en différentes catégories selon leur fonctionnement. On dénombre autant de variétés de robots que de concepteurs. Les quatre principaux robots ressortant de nos études sont les suivants :

Ekso™ : développé en Californie aux Etats-Unis, ce robot est destiné aux patients atteints d'un AVC ou d'une lésion médullaire. Sa source d'énergie est un système hydraulique, actionné par un bouton pour s'asseoir, se lever et adopter différentes postures de marche. Le robot analyse et anticipe les mouvements de la personne grâce à des capteurs. Ceux-ci transmettent l'information à des moteurs situés au niveau des hanches et des genoux. Cet exosquelette s'applique actuellement à la

rééducation avec, comme objectif futur, de toucher le grand public (Ariane, 2013 ; Newsroom, 2013).

HAL® (Hybrid Assistiv Limb®) : créé au Japon, cet exosquelette fonctionne grâce à un système hybride. Il est activé soit de manière volontaire par des signaux bioélectriques via des capteurs électromyographiques sur la peau, soit, si l'action volontaire n'est pas possible, de façon autonome via des capteurs sous les chaussures qui détectent le déplacement du poids du corps. Les données perçues par les capteurs sont analysées par un ordinateur qui génère ensuite le mouvement. Ce robot est indiqué en cas d'accident vasculaire cérébral ou de lésion médullaire incomplète (Dal'Secco, 2013 ; Rivière, 2010).

ReWalk™ : conçu en Israël, ce robot est indiqué pour les patients atteints d'une lésion médullaire. Différentes actions telles que s'asseoir, se lever, monter ou descendre les escaliers et les postures de marches sont activées de façon volontaire grâce à un boîtier situé sur le poignet. Pour initier la marche, un détecteur au niveau du torse capte le déplacement de celui-ci vers l'avant et le transmet à un ordinateur se trouvant dans un sac à dos. Ce dernier communique l'information à des moteurs électriques au niveau des jambes qui réaliseront le pas (Pigniez, 2015 ; « Rewalk, l'exosquelette de l'espoir pour les paraplégiques ! », n.d.).

Indego® : développé aux Etats-Unis, ce robot est indiqué pour des patients paraplégiques. Utilisé comme outil de réadaptation et d'assistance, il fonctionne par stimulations électriques fonctionnelles qui engendrent une activation musculaire. Celle-ci est supplée par des moteurs situés au niveau des hanches et des genoux, reliés à un ordinateur et activés par le transfert du poids du corps. Ce robot permet de se lever, de tenir en position debout et de marcher (Coline, 2016 ; « L'exosquelette d'Indego reçoit la certification de FDA pour l'usage des États-Unis », 2016).

Le poids de ces robots varie entre 15 et 23 kg pour un coût compris entre 14'000 et 130'000 USD (Ariane, 2013 ; Armstrong Moore, 2011 ; Coline, 2016 ; Pigniez, 2015).

En Suisse romande, l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) développe depuis février 2015 un exosquelette, TWIICE®, destiné exclusivement au domaine de la santé. Nous avons rencontré les concepteurs de ce robot ainsi que la testeuse de ce prototype, Madame Silke Pan, lors du Salon International des Inventions de Genève le 31 mars 2017. Cet exosquelette portable permettra aux futurs utilisateurs de se lever,

marcher, monter les escaliers en avant et les descendre en arrière. Son poids est de 15 kg et son autonomie de 3 heures. Il fonctionne grâce au transfert de poids induit par le patient, capté par un ordinateur, et par l'activation manuelle du pas via un bouton sur la canne droite. TWIICE® est également relié à un smartphone. Celui-ci, accroché à sa ceinture ventrale, permet à l'utilisateur de visualiser et sélectionner, grâce aux boutons de la canne, l'action désirée. Cet exosquelette à l'avantage d'être modulable à chacun et a pour objectif d'être financièrement plus abordable pour les particuliers que les robots actuellement présents sur le marché. Bien qu'il soit encore en phase d'essai et de développement, Madame Silke Pan, paraplégique et testeuse de ce prototype, ressent déjà de nombreux effets tels que le réalignement de ses chevilles, la facilitation de son système digestif mais surtout l'impact psychologique. En effet, elle décrit les bienfaits de se mettre debout pour être à hauteur des gens mais également pour se rappeler qu'elle est une personne à part entière et que le handicap physique ne la définit pas en tant qu'individu (Vouga et al., 2016, 2017).

#### 2.4 Résumé de la problématique

La rééducation à la marche est une des préoccupations principales des personnes ayant un handicap moteur suite à des lésions neurologiques (Eng & Tang, 2007 ; Miller et al., 2016). Au cours des dernières années, on observe une recrudescence des accidents vasculaires cérébraux et des lésions médullaires (Eng & Tang, 2007 ; Organisation mondiale de la santé et al., 2014). Cette augmentation est en partie due au vieillissement de la population ainsi qu'à l'amélioration de la prise en charge médicale aiguë qui engendre une amélioration du taux de survie (Eng & Tang, 2007 ; Organisation mondiale de la santé et al., 2014).

Les déficiences résultant d'un accident vasculaire cérébral telles que le manque de force, la douleur, les troubles de l'équilibre et la spasticité amènent à une sédentarité. Pour éviter ces affections, la prise en charge à long terme est vitale bien qu'elle se trouve, actuellement, face à un manque de moyens (Eng & Tang, 2007). Les personnes atteintes d'une lésion médullaires sont susceptibles d'adopter un mode de vie sédentaire conduisant à des complications secondaires qui augmentent le risque de mortalité (Hwang et al., 2017). Les soins continus sont donc nécessaires pour maintenir une certaine qualité de vie des patients neurologiques tout en prévenant les comorbidités (Eng & Tang, 2007 ; Organisation mondiale de la santé et al., 2014). L'exosquelette peut être utilisé dans ce but, bien que son efficacité clinique n'ait pas encore été prouvée par des études

randomisées contrôlées. En effet, des recherches valables sont nécessaires pour évaluer la sécurité, la durabilité et la fiabilité de ces appareils (Paradigm Outcomes, 2014)

## 2.5 But de l'étude

Notre étude traite uniquement des robots portables des membres inférieurs, ainsi que de leur application en neurologie. Nous souhaitons, par ce biais, explorer l'utilisation d'un exosquelette en physiothérapie. Pour ce faire, nous avons pour objectif de comparer et analyser les données de différentes revues systématiques concernant la rééducation à la marche post-AVC ou après une lésion de la moelle épinière à l'aide d'exosquelettes. Nous pensons qu'ils offrent une grande liberté d'actions thérapeutiques que ce soit dans les escaliers, à l'extérieur, en station debout avec utilisation des membres supérieurs ou dans d'autres activités habituellement limitées par le handicap. Nous avons également pour but d'identifier les effets supplémentaires de l'application de ces robots sur ces patients neurologiques.

## 2.6 Question de recherche

Quels sont les effets de l'application des exosquelettes portables des membres inférieurs sur la marche, la physiologie et le psychique des patients atteints d'un accident vasculaire cérébral ou d'une lésion de la moelle épinière ?

### 3. Méthode

Cette étude est une revue systématique de revues systématiques ou revue panorama. Elle est inspirée des guidelines de la traduction française des lignes directrices PRISMA (Annexe I) pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses (Gedda, 2015).

#### 3.1 Critères d'éligibilité

Nous avons considéré les articles en anglais et en français sans limitation dans le temps.

Nos recherches ont été ciblées sur des revues systématiques concernant :

- Les exosquelettes des membres inférieurs ;
- La rééducation à la marche ;
- Les personnes atteintes d'un accident vasculaire cérébral ;
- Les personnes ayant une lésion de la moelle épinière ;
- Des revues systématiques et méta-analyses.

#### 3.2 Sources d'information

En date du 10 octobre 2016, nous avons effectué une première recherche sur les moteurs suivants : Pubmed, Cochrane, ScienceDirect, CINHALL et PEDro. Nous avons ensuite affiné les termes recherchés de manière à faire notre dernière recherche le 2 février 2017.

#### 3.3 Recherche

((stroke OR CVA OR cerebrovascular accident OR cerebrovascular disease) OR (hemipa\* OR hemipleg\* OR paralysis OR paraplegi\* OR spinal cord injury OR SCI OR tetraplegi) AND lower limb ) AND (exoskeleton OR lokomat OR HAL OR hybrid assistive limb OR ekso OR maxx OR rewalk OR phoenix OR Rex OR Indego OR Argo OR Bionic OR Mina OR Mindwalker OR eLegs OR powered OR robots OR robot OR exoskelet\*) AND (gait OR walk OR walking OR walker OR locomotion OR locomotor) AND (systematic review OR meta analysis OR meta-analysis OR « umbrella review »)

#### 3.4 Sélection des études

Nous avons divisé la lecture des titres et résumés des résultats de nos recherches entre les deux auteurs. Le tri s'est fait en quatre catégories ; inclus, exclus, doublons et à discuter.

Pour les conflits ou en cas de doutes, une lecture complète de l'article et une discussion a été faite entre les deux auteurs pour les départager.

Nos critères d'inclusion sont présentés ci-dessus, dans la section « 3.1. critères d'éligibilité » du chapitre de la méthode.

D'autre part, nos articles exclus l'ont été pour les raisons suivantes :

- Ils sont contraires à notre PICO (ne concernent pas les membres inférieurs, ne concernent pas la rééducation à la marche, ne concernent pas les exosquelettes, n'est pas une revue systématique ou méta-analyse) ;
- Ne traitent pas les humains ;
- Concernent des enfants ;
- Concernent les animaux ;
- Concernent les personnes amputées ;
- Spécifiques à un seul muscle ou une seule articulation ;
- Traitent de robots non-mobiles.

Nous avons procédé à une lecture complète des revues incluses en créant en parallèle un tableau regroupant différents points clefs des études (annexe II). Notre intérêt se portant sur les robots portables, nous avons pris le parti d'exclure les études traitant des robots non-mobiles. Au final, nous avons quatre revues systématiques incluses pour notre étude.

### 3.5 Evaluation de la qualité des études

Nous avons utilisé la grille d'évaluation R-AMSTAR (Revised – Assessment the Methodological Quality of Systematic Reviews), grille d'évaluation de la qualité des revues systématiques, afin d'évaluer nos articles inclus (Annexe III). Elle a été développée par Kung et al. en 2010 et est dérivée de la grille AMSTAR, élaborée en 2007 par Shea et al. (Kung et al., 2010 ; Shea et al., 2007).

L'échelle R-AMSTAR comporte 11 questions. Chacune d'entre elles est divisée en critères détaillés qui, additionnés, donnent un score entre 1 et 4. Le nombre de points total s'élève entre 11 et 44.

Nous nous sommes mises d'accord sur l'interprétation des questions et des critères, ainsi que sur l'attribution des points. Nous avons fixé notre score maximal à 43 points compte tenu du design des études incluses, à savoir des revues systématiques.

L'évaluation des études s'est faite de manière individuelle par les deux chercheuses, avec comparaison et discussion des résultats afin de s'accorder sur un score final.

### 3.6 Extraction des données des études incluses

Dans ce chapitre, nous détaillons les méthodes utilisées par les auteurs des revues systématiques incluses dans notre travail, pour extraire leurs données.

Federici et al. (2015) ont développé et testé, sur dix études incluses, une feuille d'extraction de données. Celle-ci a été affinée et ensuite utilisée par un examinateur pour extraire les données pertinentes de leurs articles inclus. Un deuxième auteur a vérifié ces données, les désaccords ont été discutés par les deux chercheurs.

Un auteur de Lajeunesse et al. (2016) a extrait les données des études incluses en utilisant deux tableaux de classification.

Miller et al. (2016) ont développé, testé et affiné une base de données afin d'extraire, par un premier auteur, les données de leurs études incluses. Ces données ont été vérifiées par un second examinateur. Les différents ont été débattus et un consentement commun a été trouvé.

Un examinateur de Wall et al. (2015) a analysé les données, celles-ci ont ensuite été vérifiées par deux chercheurs supplémentaires.

### 3.7 Données

La présentation de nos données s'est faite sous forme narrative. Nous avons choisi de comparer les issues semblables des quatre études incluses. Nous avons analysé les effets des exosquelettes sur la marche ainsi que leur impact sur le corps humain et l'individu.

### 3.8 Risques de biais inhérents à chacune des études

Dans cet item, nous présentons les risques de biais mentionnés par les auteurs de nos quatre revues systématiques.

Miller et al. (2016) ont exclu, dans la sélection de leurs études, celles portant sur moins de trois personnes afin d'éliminer les biais. Wall et al. (2015) ont évalué la qualité de leurs articles inclus, soit les risques de confusions et de biais selon les critères « *The Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN)* » (Scottish Intercollegiate Guidelines Network, 2014). Federici et al. (2015) ainsi que Lajeunesse et al. (2016) n'ont pas mentionné les risques de biais dans leurs études.

### 3.9 Remarque

Les items 13 à 16 du chapitre « méthode » des lignes directrices PRISMA ne seront pas explorés dans ce travail. En effet, notre étude est une revue narrative de la littérature, nous ne jugeons donc pas pertinent d'y inclure ces points quantitatifs.

## 4. Résultats

### 4.1 Sélection des études

Nous avons extrait 106 articles des bases de données Pubmed, Cochrane, ScienceDirect, CINHAL et PEDro. Suite à la lecture des titres et des résumés, nous avons exclu six doublons et 89 articles ne correspondant pas à nos critères d'inclusion.

Nous avons lu en version intégrale les 11 études restantes et avons finalement retenu quatre articles suite à l'ajout d'un critère d'exclusion :

- Federici et al. (2015): "The effectiveness of powered, active lower limb exoskeletons in neurorehabilitation : A systematic review" (Federici et al., 2015)
- Lajeunesse et al (2016): "Exoskeletons' design and usefulness evidence according to a systematic review of lower limb exoskeletons used for functional mobility by people with spinal cord injury" (Lajeunesse et al., 2016)
- Miller et al. (2016): Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis" (Miller et al., 2016)
- Wall et al. (2015): "Clinical application of the Hybrid Assistive Limb (HAL) for gait training - a systematic review" (Wall, Borg, & Palmcrantz, 2015)

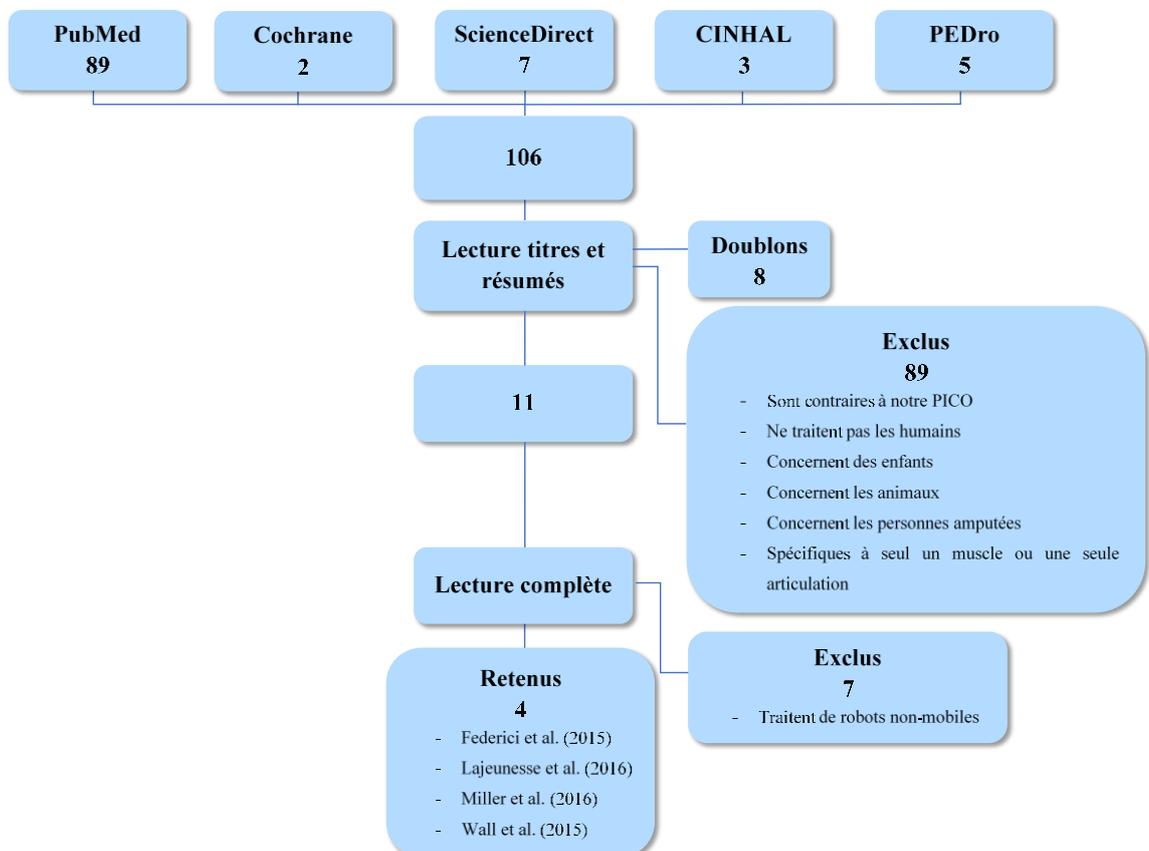


Illustration I : diagramme de flux selon la méthode PRISMA (Gedda, 2015)

## 4.2 Caractéristiques des études sélectionnées

Le tableau suivant présente un aperçu complet des caractéristiques extraites des études incluses.

Auteurs et date	Design	But	Exosquelettes	Critères d'inclusion	Nombre d'études incluses	Nombre de participants	Population, type de lésion	Stade de la maladie	Issues principales	Evaluation de qualité selon R-AMSTAR
Federici et al., (2015)	Revue systématique	Etudier les modèles actuels d'exosquelettes portables des membres inférieurs en réhabilitation, chez des patients paraplégiques souffrant des troubles de la marche dus à une atteinte du système nerveux central des suites, par exemple, d'un accident vasculaire cérébral ou d'une lésion de la moelle épinière.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ABLE system™</li> <li>- ARGO® (Advanced Reciprocating Gait Orthosis®)</li> <li>- ATLAS®</li> <li>- Bionic Leg™</li> <li>- eLEGS™</li> <li>- Ekso™</li> <li>- HAL®</li> <li>- HULC™ (Human Universal Load Carrier™)</li> <li>- MINA® (X1 robotic exoskeleton®)</li> <li>- MindWalker Exoskeleton®</li> <li>- ReWalk™</li> <li>- Tibion Bionic Technologies®</li> <li>- Vanderbilt lower limb exoskeleton®</li> <li>- Walking Assistance Device®</li> <li>- Ekso™</li> <li>- Indego®</li> <li>- MINA®</li> <li>- ReWalk™</li> <li>- Rex®</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Langue anglaise</li> <li>- Neurorehabilitation</li> <li>- Sujets paraplégiques</li> <li>- Exosquelette actif ou motorisé des membres inférieurs</li> </ul>	27	144	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésion médullaire</li> <li>- Accident vasculaire cérébral</li> <li>- Paralysie cérébrale</li> <li>- Maladies infectieuses</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6MWT (6-Minute Walk Test)</li> <li>- 10MWT (10-Meter Walk Test)</li> <li>- Ashworth</li> <li>- BBS (Berg Balance Scale)</li> <li>- Distance parcouru durant une certaine période de temps</li> <li>- Fugl Meyer Assessment for Lower Extremity (FM-LE)</li> <li>- Angle et couple d'articulation du genou</li> <li>- TUG (Time-Up-and-Go)</li> <li>- Sécurité</li> <li>- Vitesse de marche</li> </ul>	24/43
Lajeunesse et al., (2016)	Revue systématique	Examiner les effets des robots portables utilisés comme aide à la marche chez des patients atteints de LME basse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ekso™</li> <li>- Indego®</li> <li>- MINA®</li> <li>- ReWalk™</li> <li>- Rex®</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exosquelettes des membres inférieurs</li> <li>- Issues de mobilité fonctionnelle</li> <li>- LME complète ou incomplète</li> <li>- Troubles de la marche</li> </ul>	7		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lésion médullaire</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6MWT</li> <li>- 10MWT</li> <li>- Performance des compétences et tâches sans assistance</li> <li>- Pouls</li> <li>- Sécurité</li> <li>- Satisfaction</li> <li>- TUG</li> </ul>	28/43

Tableau II : caractéristiques extraites des études incluses M. Aubry et M. Paupe (2017)

Auteurs et date	Design	But	Exosquelettes	Critères d'inclusion	Nombre d'études incluses	Nombre de participants	Population, type de lésion	Stade de la maladie	Issues principales	Evaluation de qualité selon R-AMSTAR
Miller et al., (2016)	Revue systématique et méta-analyse	Création, sur la base de la littérature actuelle, de la première méta-analyse portant sur la sécurité et l'efficacité clinique des robots portables chez les personnes atteintes de LME.	- Ekso™ - Indego® - ReWalk™	- Etudes randomisées contrôlées ou non randomisées contrôlées - Prospectives ou rétrospectives séries de cas sans restriction de date - Sécurité et efficacité de la marche avec exosquelettes motorisés - Adultes atteints de LME	14	111	- Lésion médullaire	-Subaiguë -Chronique	- 6MWT - Baisse spasticité (auto-reporté) - BORG - Poulx - Sécurité	30/43
Wall et al., (2015)	Revue systématique	Evaluer la faisabilité (maniabilité et sécurité) et les effets de l'Hybrid Assistive Limb® ainsi qu'émettre des recommandations pour de futures études.	- HAL®	- Anglais - Traite des humains - Articles de recherches primaires - Entraînement à la marche avec le HAL®	7	140	- Lésion médullaire - Accident vasculaire cérébral	-Aiguë -Chronique	- 6MWT - 10MWT - BBS - FAC (Functional Ambulation Catégorie) - FM-LE - TUG	29/43

Tableau II : suite

### 4.3 Evaluation de la qualité des études

Le détail des résultats obtenus par l'évaluation R-AMTAR se trouve en annexe IV. Leur interprétation se base sur les recommandations de Gaudreault et al. (2014). Ces derniers jugent les études en fonction du pourcentage de points obtenus par rapport au score maximal possible. Ils qualifient une étude de bonne qualité si elle obtient un score supérieur à 60% (Gaudreault et al., 2014).

Nous avons donc calculé ces pourcentages pour nos quatre revues systématiques :

- Federici et al. (2015) : 55,81%
- Lajeunesse et al. (2016) : 65.11%
- Miller et al. (2016) : 69.77%
- Wall et al. (2015) : 67.44%

Nous considérons les études de Lajeunesse et al. (2016), Miller et al. (2016) et Wall et al. (2015) comme étant de bonne qualité. Federici et al. (2015) ont, quant à eux, un score inférieur à 60%. Cependant, ce pourcentage étant proche des recommandations de Gaudreault et al.(2014), nous estimons cet article pertinent pour la réalisation de notre travail.

### 4.4 Résultats de chaque étude

Nous allons vous présenter les points clefs de nos résultats divisés en quatre thèmes : mobilité, applicabilité, effets physiologiques ainsi que sécurité et satisfaction.

#### 4.4.1 Mobilité

##### **Federici et al. (2015)**

Selon Federici et al. (2015), l'exosquelette Hybrid Assistive Limb® améliore, chez les patients paraplégiques, leur aptitude à marcher. Ils ont relevé que le robot Rewalk™, pour ces mêmes patients, permet une qualité de déambulation se rapprochant de celle nécessaire pour un déplacement en milieu urbain. Présentant, par exemple, une démarche globalement symétrique pour une distance de 100 mètres. Toujours chez les patients paraplégiques, les auteurs décrivent pour le robot Vanderbilt Lower Limb® une augmentation de la vitesse de marche et des amplitudes articulaires du genou et de la hanche similaires à celles observées chez des sujets sains. Les résultats révèlent que l'exosquelette MINA® aide aux mouvements de marche chez des lésés médullaires pouvant, par ce biais, atteindre une vitesse de 0,20 m/s. Les patients atteints d'une lésion

médullaire complète, sans activité volontaire des membres inférieurs, peuvent améliorer leurs capacités à se déplacer grâce à l'exosquelette Ekso™. Federici et al. (2015) ont observé une différence de temps lors de l'élévation du talon jusqu'au pas dans la marche des utilisateurs non-valides comparativement à des personnes saines. Ils ont également noté que chez les sujets expérimentés, ce temps est réduit. Dans cette étude, il est présenté que le robot HULC™ permet aux patients incapables de marcher sans assistance d'améliorer leur mobilité.

#### **Lajeunesse et al. (2016)**

Selon ces auteurs, la marche a été améliorée par l'utilisation des exosquelettes chez des patients atteints de lésions médullaires complètes et incomplètes. Le robot démontrant les meilleurs résultats est le ReWalk™. Celui-ci permet d'atteindre une vitesse de 0.51 m/s chez des sujets entraînés avec l'exosquelette durant 3 mois à raison de 45 séances d'entraînement de 60 à 120 minutes chacune. Dès la première séance, une performance de 0.22 m/s a été observée lors de l'utilisation de l'exosquelette Indego®. Des issues de mobilité telles que le test de marche de 6 minutes, le test de 10 mètres de marche et le Time Up and Go ont été employées exclusivement pour les deux robots cités ci-dessus (Annexe V, VI, VII). Lajeunesse et al. (2016) exposent que lors de la rééducation avec un ReWalk™, les personnes atteintes d'une lésion médullaire basse ont une amélioration plus significative que les sujets atteints d'une lésion de la moelle épinière haute.

#### **Miller et al. (2016)**

Dans cette étude, Miller et al. (2016) ont décrit que moins de 5% des lésés médullaires sont capables de marcher sans aide. A la suite d'un plan d'entraînement à la marche avec un robot, ils ont calculé que 76% des patients sont capables de marcher avec un exosquelette, sans assistance physique. Les auteurs ont également souligné que lors du test de marche de 6 minutes, une distance moyenne de marche avec un exosquelette est de 98 mètres ce qui correspond à une vitesse moyenne de 0.27 m/s.

#### **Wall et al. (2015)**

Ces auteurs ont regroupé des études portant, excepté pour l'une d'entre elles, sur l'entraînement à la marche avec l'exosquelette Hybrid Assistive Limb®. Les issues portant sur la capacité de marche ont été réalisées sans le port d'exosquelette, à l'exception d'une étude incluse dont les résultats ont été obtenus avec et sans port du HAL®. Wall et al. (2015) mentionnent que dans une de leurs études incluses, une différence significative est observée. En effet, ils ont comparé pour des patients atteints d'un accident vasculaire cérébral, une rééducation avec le HAL® à une rééducation dite

conventionnelle. Les résultats montrent des différences significatives en faveur du groupe avec exosquelette sur la base de l'issue Functional Ambulation Categories. Cependant, les auteurs relèvent différentes limites quant à ces résultats, telles que l'évaluation non-aveugle de ceux-ci, le stade de la maladie ou encore la taille de l'échantillon. Wall et al. (2015) ont également mentionné l'amélioration de la posture de marche et du tronc, de la vitesse de marche, du nombre de pas et du rythme de marche, de la marche indépendante, de la fonction motrice des membres inférieurs et des capacités d'équilibre.

#### **4.4.2 Applicabilité**

##### **Federici et al. (2015)**

Dans leur étude, les auteurs mentionnent que sur un échantillon de cinq participants sans activité des membres inférieurs due à une lésion médullaire ou à une ataxie, le robot eLEGS™ est intuitif et facile d'apprentissage à l'utilisation.

L'applicabilité de l'exosquelette MINA® a également été décrite dans cette étude. La charge cognitive a été évaluée qualitativement en observant la capacité du patient à converser et à garder le contact visuel avec le thérapeute lors de la marche avec le robot. Les chercheurs ont observé qu'un effort cognitif minimal est requis pour l'utilisation du dispositif MINA®. De plus, il ne présente pas une charge physique importante lors de son utilisation.

##### **Wall et al. (2015)**

Certains événements indésirables transitoires ont été reportés dans l'étude de Wall et al. (2015). Ils décrivent des plaintes liées à l'irritation de la peau, des douleurs dues à l'entraînement et à la pression exercée par l'exosquelette. Cependant, aucun incident grave n'est survenu lors de la formation avec l'Hybrid Assistive Limb®.

Les équipes de Lajeunesse (2016) et de Miller (2016) n'abordent pas l'applicabilité des exosquelettes dans leur travail.

#### **4.4.3 Effets physiologiques**

##### **Lajeunesse et al. (2016)**

Lajeunesse et ses collaborateurs (2016) ont noté différents effets physiologiques dans cinq de leurs sept études incluses. Certains paramètres ont été relevés sur une période de deux à trois mois, concernant les effets liés à l'activité physique produite lors des sessions d'entraînement avec exosquelette. Ces auteurs ont noté une diminution des infections

urinaires, des problèmes de digestion, des spasmes musculaires, des plaies dues à la pression ainsi que d'autres problèmes de peau. Ils ont constaté une augmentation de la circulation vasculaire et lymphatique, une amélioration des capacités respiratoires et cardio-vasculaires et une hausse ou une préservation de la masse maigre et osseuse.

#### **Miller et al. (2016)**

Les auteurs déclarent que la demande métabolique lors de la marche assistée par robots motorisés est en moyenne de 3,3 METs<sup>1</sup>, ce qui correspond à une marche de 3 miles par heure soit 1.34 m/s pour une personne en bonne santé (Mittaz Hager, 2012). L'effort perçu lors de la marche avec exosquelette sur l'échelle de BORG est de 10, ce qui équivaut à un effort assez léger à léger. Une diminution de la spasticité chez 38% des patients a été relevée dans cinq études lors des entraînements avec exosquelettes. Miller et al. (2016) ont noté dans trois études une amélioration de la régularité de digestion chez 61% des patients.

Les effets physiologiques ne sont pas abordés dans les études de Federici et al. (2015) et Wall et al. (2015).

#### **4.4.4 Sécurité et satisfaction**

##### **Federici et al. (2015)**

Federici et al. (2015) ont mis en évidence l'aspect sécuritaire de l'exosquelette Ekso<sup>TM</sup>. Dans un environnement contrôlé, ce robot est sans danger pour des lésés médullaires thoracique complets.

##### **Lajeunesse et al. (2016)**

Les auteurs décrivent un manque d'information concernant la sécurité et la satisfaction dans les études incluses. Cependant, ils ont noté aucun effet néfaste avec les robots ReWalk<sup>TM</sup> et MINA®, ainsi qu'aucune complication dans les membres supérieurs lors de l'utilisation d'un exosquelette. Ils ont également relevé, dans une étude, le niveau de satisfaction des patients utilisant l'exosquelette ReWalk<sup>TM</sup>. Ceux-ci expriment, au moyen de l'échelle de Likert, leur satisfaction face au robot, malgré certaines difficultés à ajuster et porter l'appareil.

##### **Miller et al. (2016)**

---

<sup>1</sup> Le MET est « l'équivalent métabolique d'un effort physique », 1 METs est « l'unité qui exprime la consommation d'énergie au repos » (Mittaz Hager, 2012)

Aucun événement grave n'a été signalé dans les études incluses par Miller et al. (2016). De ces études, deux chutes ont été reportées, liées à des erreurs de programmation de la première génération du robot Ekso™. Une troisième chute est imputable à une interruption du fonctionnement des béquilles spécialisées pour l'utilisation d'un exosquelette. Les chercheurs signalent un seul cas de fracture chez un patient qui n'avait pas subi au préalable de dépistage de la densité osseuse.

Dans l'étude de Wall et al. (2015), la sécurité et la satisfaction liées à l'utilisation d'exosquelettes ne sont pas mentionnées.

#### 4.5 Synthèse des résultats

La synthèse des résultats obtenus dans chacune de nos études est détaillée dans le tableau ci-dessous.

Auteurs et date	Mobilité	Applicabilité	Effets physiologiques	Sécurité et satisfaction
Federici et al., (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HAL®, MINA®, Ekso™ et Hulk® augmentent la mobilité des patients atteints d'une LME ;</li> <li>- ReWalk™ permet une qualité de marche proche de celle nécessaire en milieu urbain ;</li> <li>- Vanderbilt Lower Limb® permet des amplitudes articulaires similaires à celles d'un sujet sain.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eLEGS™ est intuitif et présente une facilité d'apprentissage à l'utilisation ;</li> <li>- MINA® demande un effort cognitif minimal et une charge physique peu importante.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ekso™ est sans danger lorsqu'il est utilisé dans un environnement contrôlé pour les patients atteints de LME thoracique complète.</li> </ul>
Lajeunesse et al., (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'exosquelette améliore la marche chez des patients atteints d'une LME ;</li> <li>- ReWalk™ démontre les meilleurs résultats ;</li> <li>- Avec le ReWalk™ les patients atteints d'une LME basses ont une amélioration plus significative que les LME hautes.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grâce au port de l'exosquelette, une diminution des troubles de digestion, des infections urinaires, des spasmes musculaires, des plaies cutanées et autres problèmes de peau a été relevée ;</li> <li>- Une augmentation des capacités respiratoires et cardio-vasculaires, de la circulation sanguine et lymphatique, une hausse ou un maintien de la masse maigre et osseuse ont été notés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ReWalk™ et MINA® ne présentent aucun effet néfaste ;</li> <li>- Aucune complication des membres supérieurs n'a été relevée lors de l'utilisation de robot ;</li> <li>- Les utilisateurs sont satisfaits du ReWalk™ malgré certaines difficultés à ajuster et porter l'appareil.</li> </ul>
Miller et al., (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En général, 5% des patients atteints d'une LME peuvent marcher sans aide physique. Après rééducation avec exosquelette, 76% en sont capables.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- La demande métabolique lors de la marche avec exosquelette est de 3,3 METs ;</li> <li>- L'effort lors de la marche avec exosquelette est assez léger à léger ;</li> <li>- Diminution de la spasticité chez 38% des patients et amélioration de la régularité de digestion chez 61% d'entre eux lors d'un entraînement avec exosquelette.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucun événement grave n'a été reporté ;</li> <li>- Trois chutes ont été signalées, deux dues à la programmation du robot et une due au fonctionnement des béquilles ;</li> <li>- Une fracture a été déclarée chez un patient n'ayant pas subi de dépistage de la densité osseuse.</li> </ul>
Wall et al., (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les patients atteints d'un AVC ont de meilleurs résultats aux tests sans port d'exosquelette s'ils ont eu une rééducation avec le HAL® comparativement à une rééducation conventionnelle ;</li> <li>- Le HAL® permet d'améliorer : la posture, la vitesse, le rythme et l'indépendance de la marche, l'équilibre et la motricité des membres inférieurs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lors de l'utilisation du HAL®, aucun événement grave n'est survenu. Il est décrit uniquement des plaintes transitoires liées au port du robot.</li> </ul>		

Tableau III : synthèse des résultats M. Aubry et M. Paupe (2017)

## 5. Discussion

### 5.1 Interprétation des résultats

Dans ce chapitre, nous analysons les résultats issus de nos différentes revues systématiques, de notre expérience personnelle vécue au Salon International des Inventions de Genève en y intégrant notre opinion propre. Nous les avons détaillés par thème : mobilité, applicabilité, bénéfices physiologiques ainsi que sécurité et satisfaction.

#### 5.1.1 Mobilité

Grâce aux résultats des revues systématiques étudiées, nous pouvons affirmer que, pour des personnes dans l'incapacité de se tenir debout, les exosquelettes leur permettent de se verticaliser et, dans certains cas, de marcher. Comme mentionné dans la revue de Miller et al. (2016), 76% des lésés médullaires ayant participé à un programme d'entraînement à la marche avec exosquelettes sont capables de marcher sans aide physique. Seulement 5% de ces patients avaient cette capacité avant l'intervention. Nous estimons, sur la base de ces informations, que ces robots permettent une amélioration de l'autonomie des patients leur accordant un accès à un plus grand nombre d'activités.

Nous avons pu observer dans nos différentes revues systématiques, une amélioration de la marche grâce à l'exosquelette autant pour les personnes atteintes d'un accident vasculaire cérébral que d'une lésion de la moelle épinière. Pour ces patients, la possibilité de marcher a été relevée dans les quatre revues systématiques. La vitesse de marche avec un exosquelette ne permet pas à un lésé médullaire d'atteindre celle d'une personne sans handicap selon Lajeunesse et al. (2016). La vitesse de marche moyenne chez un sujet sain est de 1.4 m/s pour les hommes et 1.36 m/s pour les femmes (Bohannon, 1997). Selon les résultats du test de marche de 6 Minutes de Miller et al. (2016), la vitesse moyenne de la marche avec un exosquelette est de 0.26 m/s. Nous remarquons que cette performance est éloignée de celle d'un sujet sain. Cependant, selon Miller et al. (2016), ces résultats sont encourageants quant au potentiel de marche des patients à domicile et en communauté. Avec l'exosquelette MINA®, Federici et al. (2015) ont révélé que les sujets sont capables d'atteindre une vitesse de 0.20 m/s. Selon Lajeunesse et al. (2016), dès la première séance d'entraînement avec le robot Indego®, les utilisateurs présentent une performance de 0.22 m/s. Malgré l'application d'exosquelettes différents, nous remarquons que l'écart de vitesse entre les robots MINA® et Indego® est faible. Nous notons qu'avec l'appareil Indego®, la vitesse de marche atteinte dès la première séance est proche de la moyenne

de la marche avec un exosquelette décrite par Miller et al. (2016). En termes de vitesse de marche, nous remarquons que, dans l'étude de Lajeunesse et al. (2016), le robot ReWalk™ présente les meilleurs résultats avec une performance atteignant 0.51m/s chez les individus entraînés. Cependant, nous manquons d'éléments de comparaison quant à la vitesse de marche avec d'autres exosquelettes. Les issues principalement utilisées pour mesurer la vitesse de marche sont le Time Up and Go, le test de marche de 6 minutes, et le test de 10 mètres de marche.

D'autres améliorations ont été décrites par Wall et al. (2015), comme l'amélioration de la fonction motrices des membres inférieurs, des capacités d'équilibre, de la posture de marche et du tronc, du nombre de pas, du rythme de marche et de la marche indépendante. Lajeunesse et ses collègues (2016) s'accordent sur le fait que les exosquelettes sont efficaces en termes de vitesse, de distance et de temps de marche mais émettent des réserves quant à l'amélioration de la performance à long terme.

Le ReWalk™ présente les meilleurs résultats quant à la marche selon l'équipe de Lajeunesse (2016). En comparant ces résultats à ceux obtenus par Federici et al. (2015), nous pensons que cet exosquelette, par son avancée technologique, se rapproche des besoins des patients neurologiques chroniques.

Nous constatons que l'application actuelle des exosquelettes se fait en laboratoire ou en milieu clinique. Ces entraînements ont été réalisés sur terrains plats, sécurisés et très rarement sur des surfaces inégales. Néanmoins, Fédérici et al. (2015) mentionnent que le robot ReWalk™ a des propriétés proches de celles nécessaires pour se déplacer en milieu urbain. Certaines études incluses par Miller et al. (2016) contenaient un entraînement à la marche complexe dans un environnement de la vie quotidienne. Ces séances comportent des activités telles que la marche sur surfaces inégales, l'utilisation des escaliers et ascenseurs, la marche à l'extérieur avec des bordures et trottoirs ou encore la commande dans un café. L'ensemble de ces tâches a été réalisé sous le contrôle de cliniciens et montre que l'exosquelette portable facilite les activités de la vie quotidienne. Nous déplorons cependant le manque de recherches à l'extérieur, qui permettraient au patient d'être plus proche de sa vie quotidienne en communauté et à domicile.

Les issues ont été mesurées avec le port de l'exosquelette dans la majorité des cas, excepté pour Wall et al. (2015). Ceux-ci montrent qu'une amélioration de la marche sans exosquelette peut être acquise à la suite d'une rééducation robotisée. Nous percevons que la marche peut être améliorée suite à des programmes d'entraînement robotisés autant avec le port d'un exosquelette que sans. Ce fait est intéressant dans le domaine de la

rééducation, car il permet au patient d'améliorer ses capacités de marche pour un retour à domicile sans robot. Pour les patients dont le port d'exosquelette est indispensable pour marcher, nous pouvons espérer une application de ces appareils à domicile. Celle-ci leur permettrait d'améliorer leur autonomie. D'où l'intérêt de développer l'accessibilité de l'exosquelette à domicile dans un futur proche.

### **5.1.2 Applicabilité**

Nous observons à travers nos lectures que des efforts ont été fournis pour permettre une certaine facilité d'utilisation des exosquelettes. En effet, le robot eLEGS<sup>TM</sup> étudié par l'équipe de Federici (2015), est intuitif et simple d'apprentissage. Cependant, nous déplorons que l'applicabilité des robots ne soit pas optimale pour les patients.

Tout d'abord, nous remarquons dans les études de Federici et al. (2015) et Lajeunesse et al. (2016) ainsi que lors de la démonstration de l'exosquelette TWIICE® de l'EPFL à laquelle nous avons assisté, que les caractéristiques structurelles des robots de marche limitent l'inclusion de certains patients. La plupart des exosquelettes, excepté le TWIICE®, ne sont pas modulables en matière de taille, de poids, de grandeur du sac à dos en fonction de la morphologie des patients. De plus, des différences significatives sont notables entre les robots de marche en termes de durée d'autonomie de la batterie, de temps nécessaire à la mise en marche et des fonctions motrices que permettent ces dispositifs de marche. Nous regrettons qu'aucun exosquelette ne regroupe toutes ces propriétés, ce qui permettrait une utilisation facilitée en communauté. De plus, l'utilisation de cannes anglaises est nécessaire pour la marche avec ces robots, limitant l'usage des membres supérieurs dans d'autres actions. Le robot développé par l'EPFL présente un grand nombre de ces caractéristiques, notamment l'adaptation à la taille et au poids de l'utilisateur, mais nécessite néanmoins une aide physique pour l'installation de la personne dans le robot.

Federici et al. (2015) et Lajeunesse et al. (2016) s'accordent à dire que l'application des exosquelettes en communauté pour faciliter les activités de la vie quotidienne n'est actuellement pas adaptée. Néanmoins, les équipes de Federici (2015) et Miller (2016) mentionnent que l'utilisation de ces robots nécessite des charges cognitives minimales ainsi qu'un effort physique assez léger à léger. En effet, les patients de l'étude de Miller et al. (2016) estiment pouvoir supporter des sessions d'entraînement prolongées. Ceux-ci sont soutenus par certaines études de la revue systématique qui mentionnent des séances pouvant atteindre une durée de deux heures.

Nous notons, en accord avec l'étude de Wall et al. (2015), que l'utilisation des robots de marche peut avoir des effets indésirables. Cependant, ceux-ci ne sont que passagers, n'affectant pas le patient à long terme.

Finalement, nous constatons, dans l'étude de Federici et al. (2015), un manque de preuves expérimentales quant à l'efficacité d'une rééducation avec exosquelette face à d'autres techniques ou technologies de réadaptations. De plus, ces robots, extrêmement coûteux, ne sont que très rarement pris en charge par les assurances ne facilitant pas leur acquisition par les patients.

### **5.1.3 Effets physiologiques**

Les effets physiologiques induits par un entraînement avec exosquelette sont nombreux. Ils touchent de multiples systèmes du corps humain tels que la peau, les os, le système cardio-vasculaire, respiratoire et lymphatique, la digestion ainsi que le système nerveux et musculaire par une réduction de la spasticité. Ce dispositif robotisé permet aussi aux lésés médullaires de diversifier et d'augmenter leur activité physique. La perception de l'intensité de l'effort, la demande énergétique et la fatigabilité du patient lors de la marche avec exosquelette peuvent être mesurées par l'échelle de BORG et la demande métabolique en METs. La moyenne de 3.3 METs décrite par Miller et al. (2016) représente entre 24% et 35% de l'absorption maximale d'oxygène pendant l'effort chez des lésés médullaires. Pour comparaison, une marche pour le plaisir effectuée par une personne saine représente 3.5 METs (Ainsworth et al., 2000). Ceci démontre que la dépense énergétique nécessaire à l'utilisation d'un exosquelette est relativement faible. Par conséquent, nous remarquons que grâce à l'exosquelette, les patients peuvent entreprendre une activité physique prolongée, sans fatigue précoce, à une intensité qui permet des bienfaits physiologiques.

Les équipes de Lajeunesse (2016) et Miller (2016) s'accordent sur ces effets physiologiques observés chez des lésés médullaires suite à un entraînement à la marche robotisé. Lajeunesse et al. (2016) précisent que ces effets ont été mesurés sur une période de rééducation avec exosquelette allant de 2 à 3 mois. Nous relevons donc qu'il n'est nécessaire que d'une courte durée d'entraînement pour obtenir ces bienfaits.

Toutefois, nous déplorons le peu d'études traitant de ce sujet ainsi que le manque de données quantitatives. Bien que ces effets soient nombreux et rapidement obtenus, nous notons que peu d'études traitent de l'importance de ces avantages produits par la verticalisation et les mouvements induits par l'exosquelette. De plus, les bénéfices dus à

l'activité physique contrent les complications possibles liées à une diminution de l'activité ainsi qu'à la position induite par le handicap et réduisent ainsi, de manière préventive, le risque de mortalité.

Les observations des équipes de Lajeunesse (2016) et Miller (2016) sont confirmées par l'entretien que nous avons eu avec Madame Silke Pan, volontaire pour piloter l'exosquelette TWIICE® de l'EPFL. En effet, elle nous a décrit une amélioration de la digestion et de l'alignement de ses chevilles. Néanmoins, ces données sont subjectives car elle n'a pas eu de suivi médical concernant les bénéfices physiologiques.

#### **5.1.4 Sécurité et satisfaction**

Les équipes de Federici (2015) et Miller (2016) s'entendent sur une utilisation sécuritaire des exosquelettes sous supervision de cliniciens chez des lésés médullaires, bien qu'ils n'aient pas été testés dans des environnements similaires. En effet, dans la revue systématique de Federici et al. (2015), le robot Ekso™ n'a été testé que dans des environnements contrôlés. L'équipe de Miller (2016) n'a, quant à elle, relevé aucun événement indésirable lors d'entraînements dans des environnements complexes. Nous considérons donc que les exosquelettes sont sécuritaires dans un environnement contrôlé. Néanmoins, nous trouverions nécessaire d'effectuer de plus amples études sur la sécurité de l'application des exosquelettes dans des environnements identiques à ceux du quotidien des patients. Nous notons également que les résultats obtenus dans les études se basent sur l'absence d'événements indésirables et non pas sur des arguments prouvant que l'exosquelette est sécuritaire.

Suite aux incidents relevés par Miller et al. (2016), nous sommes satisfaites d'observer que des modifications ont été réalisées sur les exosquelettes et que les critères d'inclusion des patients au programme de rééducation ont été révisés.

Nous nous questionnons quant aux complications que peuvent avoir les exosquelettes sur les membres supérieurs comme des douleurs apparaissant au niveau des articulations du poignet, du coude et de l'épaule. Lajeunesse et al. (2016) soulèvent également cette question en s'interrogeant sur les effets indésirables à long terme susceptibles d'apparaître chez l'utilisateur. Cependant, ils affirment, à travers les études incluses, qu'aucune complication des membres supérieurs n'a été observée.

Concernant la satisfaction, Madame Silke Pan nous a décrit les bienfaits psychologiques que lui procure l'utilisation de l'exosquelette. Cet appareil lui a permis de se rappeler que le handicap touche son corps, mais ne la définit pas en tant que personne. Nous regrettons

l'absence de recherche sur ce sujet dans les études sur les exosquelettes. De plus, nous notons un manque d'informations générales sur la sécurité et la satisfaction des utilisateurs des robots motorisés.

### **5.1.5 Application en physiothérapie**

D'un point de vue physiothérapeutique, nous utiliserions l'exosquelette comme moyen de réhabilitation en neurologie. A travers nos études, nous avons constaté que cet outil permet non seulement, aux personnes qui n'en sont pas capables de se verticaliser et de marcher, mais également de bénéficier de nombreux bénéfices physiologiques et psychologiques. Actuellement, les institutions de réhabilitation en Suisse possèdent majoritairement des robots non-mobiles (par exemple Lokomat®). Ces derniers ne permettent pas, contrairement aux robots portables, de se déplacer librement, sans fauteuil roulant, dans les escaliers et à l'extérieur. Avec l'exosquelette, nous pouvons imaginer une thérapie diversifiée en incluant des exercices des membres supérieurs en position statique, des exercices de posture, d'équilibre et d'endurance. Ces programmes offriraient aux patients une situation proche de celle qu'ils avaient avant la lésion.

De plus, la sécurité des patients est importante en physiothérapie. Le peu d'événements indésirables recueillis dans nos études, montre que cet outil pourrait être utilisé de façon sécuritaire sous supervision d'un physiothérapeute.

Au vu des nombreux bénéfices physiologiques relevés dans nos études, nous sommes convaincues que l'entraînement avec exosquelette améliore l'état de santé du patient. La prise en charge physiothérapeutique permettrait non seulement une augmentation des capacités motrices mais également une vision du patient dans son intégralité. Contrairement à des thérapies conventionnelles, l'exosquelette permet d'allier la stimulation simultanée de nombreux systèmes du corps humain. Nous souhaiterions en savoir plus sur l'aspect psychologique, cependant nous en avons eu un aperçu encourageant lors de notre entretien avec Madame Silke Pan. En thérapie, nous pensons que la relation thérapeute-patient est notamment stimulée par cette technique novatrice, mais aussi par un contact à hauteur égale favorisant la communication.

En physiothérapie, nous considérons aussi l'autonomie du patient dans le but d'un retour à la maison. Par la possible application à domicile des exosquelettes, nous souhaiterions préserver et améliorer cette autonomie. Nous pouvons imaginer, dans un futur proche, des séances de physiothérapie destinées à l'apprentissage de l'utilisation des robots aux personnes en situations de handicap.

## 5.2 Forces et limites

Notre travail s'inscrit dans une problématique actuelle. En effet, nous ne visualisons encore pas l'intégralité des effets d'une rééducation à la marche avec un exosquelette. Néanmoins, nous dégagons, dans notre étude, une vue d'ensemble de ces bénéfices sur la marche, les aspects physiologiques et psychologiques en lien avec la littérature actuelle. L'expérience personnelle que nous avons vécue lors de notre entretien avec Madame Silke Pan et les inventeurs de l'exosquelette TWIICE®, nous a permis de percevoir la complexité de cet outil autant dans son fonctionnement, sa conceptualisation que dans ses effets sur l'utilisateur.

En ce qui concerne nos limites, certaines études sur lesquelles se basent nos quatre revues systématiques ont été incluses dans plusieurs d'entre elles. Nous sommes conscientes que des informations découlant de revues systématiques différentes peuvent provenir de la même étude. Par conséquent, nos résultats peuvent retranscrire des données identiques, ne garantissant pas le caractère hétérogène.

De plus, le design et les interventions des études incluses dans les revues systématiques ne sont pas toujours similaires. La fiabilité de leurs résultats n'est pas assurée. Ainsi, nous mettons en garde quant à l'interprétation de nos résultats. En effet, les études nécessiteraient une meilleure régularité des critères d'inclusion, d'intervention et des issues sélectionnées afin de garantir des résultats comparables.

## 6. Conclusion

A travers les résultats que nous avons obtenus dans ce travail, nous considérons que les exosquelettes ont leur place dans la rééducation et la vie des personnes atteintes de lésion médullaire ou d'un accident vasculaire cérébral. Nous pensons que l'application de ces robots en séance de physiothérapie est pertinente au vu des nombreux bénéfices qu'elle engendre et des possibilités qu'elle offre. Nous sommes conscientes que cette technologie doit être perfectionnée, néanmoins elle amène déjà des bénéfices à ses utilisateurs. Nous notons des effets positifs sur la capacité et la qualité de marche du patient, sur la physiologie du corps humain ainsi que sur le psychisme de l'individu. C'est pourquoi, nous estimons indispensable de poursuivre les études à ce sujet, d'autant plus que cela concerne un nombre grandissant de patients.

La littérature actuelle portant sur ce sujet est très récente et donc peu abondante. Les possibilités d'investigation à mener dans ce domaine sont multiples notamment avec une vision à long terme en se focalisant autant sur la sécurité, sur les effets physiques que sur l'impact psychique qu'engendre l'utilisation d'un exosquelette.

## **7. Financement**

Nous n'avons obtenu aucun financement pour la réalisation de ce travail.

## 8. Références

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., ... Leon, A. S. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9 Suppl), S498-504.
- Ariane. (2013, octobre). Ekso : remarcher grâce à un exosquelette. *Hitek.fr*. Repéré à [http://hitek.fr/actualite/exosquelette-pour-marcher-de-nouveau\\_534](http://hitek.fr/actualite/exosquelette-pour-marcher-de-nouveau_534)
- Armstrong Moore, E. (2011, mars). HAL-5: The exoskeleton robot « to suit you ». *CNET*. Repéré à <https://www.cnet.com/news/hal-5-the-exoskeleton-robot-to-suit-you/>
- ASIA. (2004, novembre). Score ASIA - Urgences-Online. Repéré à <http://www.urgences-serveur.fr/score-asia,903.html>
- AVC ischémique et hémorragique: Fragile Suisse. (n.d.). *Fragile Suisse*. Repéré à <http://www.fragile.ch/fr/lesions-cerebrales/causes/attaque-cerebraleavc/avc-ischemique-et-hemorragique/>
- Bachman, N., Burla, L., & Kohler, D. (2015). *La santé en Suisse - Le point sur les maladies chroniques*. Berne. Repéré à [http://www.obsan.admin.ch/sites/default/files/publications/2015/rapportsante\\_2015\\_f.pdf](http://www.obsan.admin.ch/sites/default/files/publications/2015/rapportsante_2015_f.pdf)
- Béjot, Y., Bailly, H., Durier, J., & Giroud, M. (2016). Epidemiology of stroke in Europe and trends for the 21st century. *La Presse Médicale*, 45(12), e391–e398.
- Bohannon, R. W. (1997). Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants. *Age and Ageing*, 26(1), 15- 19.
- Chen, G., Chan, C. K., Guo, Z., & Yu, H. (2013). A review of lower extremity assistive robotic exoskeletons in rehabilitation therapy. *Critical reviews in biomedical engineering*, 41(4- 5), 343- 363.
- Coline, C. (2016, 14 mars). Indego va permettre aux paralysés de marcher. *OBJETCONNECTE.NET*. Repéré à <http://www.objetconnecte.net/indego-paraplegiques-marche-1403/>
- Dal'Secco, E. (2013). La rééducation assistée par une armure cyborg ! *Handicap.fr*. Repéré à <https://informations.handicap.fr/art-handicap-handicapes-paraplegique-tetraplegique-853-6271.php>
- Eng, J. J., & Tang, P. F. (2007). Gait training strategies to optimize walking ability in people with stroke: A synthesis of the evidence. *Expert review of*

*neurotherapeutics*, 7(10), 1417- 1436.  
<https://doi.org/10.1586/14737175.7.10.1417>

- Federici, S., Meloni, F., Bracalenti, M., & De Filippis, M. L. (2015). The effectiveness of powered, active lower limb exoskeletons in neurorehabilitation: A systematic review. *NeuroRehabilitation*, 37(3), 321- 340. <https://doi.org/10.3233/NRE-151265>
- Gaudreault, N., Durand, M.-J., Moffet, H., Hébert, L., Hagemeister, N., Feldman, D., ... Maynard-Paquette, A.-C. (2014). *Bilan des connaissances sur les facteurs de risque de l'arthrose du genou et sur les outils d'évaluation et les interventions en matière de soins et services* (Rapport No. R-832). Québec. Repéré à <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-832.pdf>
- Gedda, M. (2015). Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. 157.
- Hassani, W. (2014). *Contribution à la modélisation et à la commande assistive basée intention d'un exosquelette du membre inférieur. Automatique / Robotique*. Paris-Est, Paris. Repéré à <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01328715/document>
- Hwang, S., Kim, H.-R., Han, Z.-A., Lee, B.-S., Kim, S., Shin, H., ... Lee, H.-J. (2017). Improved Gait Speed After Robot-Assisted Gait Training in Patients With Motor Incomplete Spinal Cord Injury: A Preliminary Study. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 41(1), 34- 41. <https://doi.org/10.5535/arm.2017.41.1.34>
- Kung, J., Chiappelli, F., Cajulis, O. O., Avezova, R., Kossan, G., Chew, L., & Maida, C. A. (2010). From Systematic Reviews to Clinical Recommendations for Evidence-Based Health Care: Validation of Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews (R-AMSTAR) for Grading of Clinical Relevance. *The Open Dentistry Journal*, 4, 84- 91. <https://doi.org/10.2174/1874210601004020084>
- Lajeunesse, V., Vincent, C., Routhier, F., Careau, E., & Michaud, F. (2016). Exoskeletons' design and usefulness evidence according to a systematic review of lower limb exoskeletons used for functional mobility by people with spinal cord injury. *Disability and rehabilitation. Assistive technology*, 11(7), 535- 547. <https://doi.org/10.3109/17483107.2015.1080766>
- Langhammer, B., Sunnerhagen, K. S., Lundgren-Nilsson, Å., Sällström, S., Becker, F., & Stanghelle, J. K. (2017). Factors enhancing activities of daily living after stroke in specialized rehabilitation. An observational multicenter study within the

- Sunnaas International Network. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.17.04489-6>
- L'exosquelette d'Indego reçoit la certification de FDA pour l'usage des États-Unis. (2016, 11 mars). *News-Medical.net*. Repéré à <http://www.news-medical.net/news/20160311/1765/French.aspx>
- Lyrer, P. A. (2000). Épidémiologie de l'accident vasculaire cérébral. *Bulletin des Médecins Suisses*, 37, 2082–2085.
- Meyer, K., Simmet, A., Arnold, M., Mattle, H., & Nedeltchev, K. (2009). Stroke events, and case fatalities in Switzerland based on hospital statistics and cause of death statistics. *Swiss Medical Weekly*, 139(5- 6), 65- 69. <https://doi.org/smw-12448>
- Miller, L. E., Zimmermann, A. K., & Herbert, W. G. (2016). Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury: systematic review with meta-analysis. *Medical Devices (Auckland, N.Z.)*, 9, 455- 466. <https://doi.org/10.2147/MDER.S103102>
- Mittaz Hager, A.-G. (2012). *Activité physique et Chutes chez les personnes « Senior » : une étude pilote prospective en Suisse*. Université Joseph Fournier, Grenoble.
- Mizen, N. (1969). *Brevet n° US3449769 A*. Cornell. Repéré à <http://www.google.com/patents/US3449769>
- Moulin, P. (2010). Lésions médullaires, problèmes et pronostics. *Medinfo*, (26/27), 9.
- Newsroom. (2013, 2 septembre). Ekso, l'exosquelette qui permet aux paraplégiques de remarcher. *Humanoides.fr*. Repéré à <https://humanoides.fr/ekso-lexosquelette-qui-permet-aux-paraplegiques-de-remarcher/>
- OMS | Accident vasculaire cérébral (AVC). (n.d.). *WHO*. Repéré à [http://www.who.int/topics/cerebrovascular\\_accident/fr/](http://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/fr/)
- OMS | Lésions de la moelle épinière. (2013, novembre). *WHO*. Repéré à <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs384/fr/>
- Organisation mondiale de la santé, Bickenbach, J., Officer, A., Shakespeare, T., von Groote, P., & The International Spinal Cord Society. (2014). *Lésions de la moelle épinière: perspectives internationales*. (S.I.) : Swiss Paraplegic Research. Repéré à <http://www.who.int/iris/handle/10665/131503>
- Paradigm Outcomes. (2014). Medical and Rehabilitation Innovation - Exoskeletons in Spinal Cord Injury. Repéré à <https://www.paradigmcorp.com/resources/published-papers>

- Pigniez, J. (2015). Handicap et robotique : ReWalk 6.0, un exosquelette pour permettre aux paraplégiques de marcher — Silver Economie. Repéré à <http://www.silvereco.fr/1%E2%80%99exosquelette-rewalk-sera-disponible-a-la-vente-debut-2011/311417>
- Rapportsante\_2015\_f.pdf. (n.d.). Repéré à [http://www.obsan.admin.ch/sites/default/files/publications/2015/rapportsante\\_2015\\_f.pdf](http://www.obsan.admin.ch/sites/default/files/publications/2015/rapportsante_2015_f.pdf)
- Rewalk, l'exosquelette de l'espoir pour les paraplégiques! (n.d.). Repéré à <http://www.out-the-box.fr/rewalk-lexosquelette-lespoir-les-paraplegiques/>
- Rivière, J.-P. (2010, décembre). HAL, l'exosquelette robotique qui démultiplie la force musculaire. Repéré à <http://www.doctissimo.fr/medicaments/news/hal-l-exosquelette-robotique-qui-demultiplie-la-force-musculaire>
- Sacco, R. L., Kasner, S. E., Broderick, J. P., Caplan, L. R., Connors, J. J. B., Culebras, A., ... Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism. (2013). An updated definition of stroke for the 21st century: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 44(7), 2064- 2089. <https://doi.org/10.1161/STR.0b013e318296aeca>
- Scottish Intercollegiate Guidelines Network. (2014). Critical appraisal: Notes and checklists. *SIGN*. Repéré à <http://www.sign.ac.uk/methodology/checklists.html>
- Shea, B. J., Grimshaw, J. M., Wells, G. A., Boers, M., Andersson, N., Hamel, C., ... Bouter, L. M. (2007). Development of AMSTAR: a measurement tool to assess the methodological quality of systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 7, 10. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-7-10>
- Swinnen, E., Duerinck, S., Baeyens, J.-P., Meeusen, R., & Kerckhofs, E. (2010). Effectiveness of robot-assisted gait training in persons with spinal cord injury: a systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 42(6), 520- 526. <https://doi.org/10.2340/16501977-0538>
- Vouga, T., Baud, R., Fasola, J., Pache, J., Jancik, M., Bouri, M., & Bleuler, H. (2016). Discover TWIICE, a lower limb exoskeleton for paraplegic people. Repéré à <http://twiice.ch/fr/>
- Vouga, T., Baud, R., Fasola, J., Pache, J., Jancik, M., & Pan, S. (2017, 31 mars). Salon des inventions de Genève, TWIICE. Genève.

- Wall, A., Borg, J., & Palmcrantz, S. (2015). Clinical application of the Hybrid Assistive Limb (HAL) for gait training-a systematic review. *Frontiers in systems neuroscience*, 9, 48. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00048>
- WHO EMRO | Accident vasculaire cérébral | Thèmes de santé. (n.d.). WHO. Repéré à <http://www.emro.who.int/fr/health-topics/stroke-cerebrovascular-accident/index.html>
- Wyndaele, M., & Wyndaele, J.-J. (2006). Incidence, prevalence and epidemiology of spinal cord injury: what learns a worldwide literature survey? *Spinal Cord*, 44(9), 523- 529. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101893>
- ZeroG Body-Weight Support Treadmill System I BWSTT. (n.d.). *Aretech, LLC*. Repéré à <http://www.aretchllc.com/products/zerog-lite-bwstt/>

## 9. Liste des illustrations et tableaux

- Tableau I : classification neurologique des lésions médullaires basée sur Score ASIA, 2004
- Tableau II : caractéristiques extraites des études incluses M. Aubry et M. Paupe (2017)
- Tableau III : synthèse des résultats M. Aubry et M. Paupe (2017)
- Illustration I : diagramme de flux selon la méthode PRISMA (Gedda, 2015)

## 10. Annexes

- Annexe I : Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses
- Annexe II : Points clés des études incluses
- Annexe III : Grille d'évaluation R-AMSTAR
- Annexe IV : Résultats AMSTAR
- Annexe V : Test de 6 minutes
- Annexe VI : Test de 10 mètres de marche
- Annexe VII : Time Up and Go

# Annexe I : Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses

Kinesither Rev 2015;15(157):39-44

Dossier

Traduction de dix lignes directrices pour des articles de recherche

## Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses



*French translation of the PRISMA Reporting Guidelines for writing and reading systematic reviews and meta-analyses*

Laboratoire ER3S (Atelier SHERPAS), Unité de recherche pluridisciplinaire Sport, Santé, Société - Université d'Artois, France

Michel Gedda  
(Directeur général des Instituts de formation en masso-kinésithérapie et ergothérapie de Berck-sur-Mer, Rédacteur en chef de « Kinésithérapie, la Revue »)

### RÉSUMÉ

Cet article présente sommairement les lignes directrices PRISMA sous forme d'une fiche synthétique.

PRISMA est prévue pour rapporter les revues systématiques et les méta-analyses.

Une traduction française originale de la liste de contrôle et de son diagramme de flux est proposée.

Cette traduction est mise à disposition en accès libre selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International.

Niveau de preuve. – non adapté.

© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

### SUMMARY

*This article presents guidelines PRISMA as a summary sheet.*

*PRISMA is provided for reporting systematic reviews and meta-analyses.*

*An original French translation of the checklist and his flow diagram is proposed.*

*This translation is open access under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.*

*Level of evidence. – not applicable.*

© 2014 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

### Mots clés

Édition  
Évaluation  
Méta-analyse  
Pratique factuelle  
Qualité  
Lecture  
Recherche  
Rédaction  
Responsabilité  
Revue systématique  
Standard  
Transparence

### Keywords

Edition  
Assessment  
Meta-analysis  
Evidence-based practice  
Quality  
Reading  
Research  
Reporting  
Responsibility  
Systematic review  
Standard  
Transparency

Adresse e-mail :  
direction@a-3pm.org

DOIs des articles originaux :  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.006>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.003>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.009>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.002>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.007>

<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.010>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.005>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.001>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.011>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.008>

<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.004>  
© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

## Note de la rédaction

Cet article fait partie d'un ensemble indissociable publié dans ce numéro sous forme d'un dossier nommé « Traduction française de dix lignes directrices pour l'écriture et la lecture des articles de recherche. » et composé des articles suivants :

- Gedda M. Traduction française des lignes directrices CONSORT pour l'écriture et la lecture des essais contrôlés randomisés. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices STROBE pour l'écriture et la lecture des études observationnelles. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices STARD pour l'écriture et la lecture des études sur la précision des tests diagnostiques. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices COREQ pour l'écriture et la lecture des rapports de recherche qualitative. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices ENTREQ pour l'écriture et la lecture des synthèses de recherche qualitative. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices SQUIRE pour l'écriture et la lecture des études sur l'amélioration de la qualité des soins. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices CARE pour l'écriture et la lecture des études de cas. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M, Riche B. Traduction française des lignes directrices SAMPL pour l'écriture et la lecture des méthodes et analyses statistiques. *Kinesither Rev* 2015;15(157).
- Gedda M. Traduction française des lignes directrices SPIRIT pour l'écriture et la lecture des essais cliniques, des études expérimentales et protocoles divers. *Kinesither Rev* 2015;15(157).

- 2009 : version actuelle [2] qui remplace QUOROM + ses explications [3].

**Langue :**  
Anglais

**Références bibliographiques de la version en cours :**  
Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 2009;6(7):e1000097. PMID: 19621072  
*BMJ* 2009;339:b2535. PMID: 19622551  
*Ann Intern Med* 2009;151(4):264–9, W64. PMID: 19622511  
*J Clin Epidemiol* 2009;62(10):1006–12. PMID: 19631508  
*Open Med* 2009;3(3):123–30.

**Contact :**  
Courriel : [prisma@ohri.ca](mailto:prisma@ohri.ca)

## TRADUCTION FRANÇAISE

## Contenus traduits :

- Liste de contrôle : 27 items répartis en 7 sections (*Tableau 1*) :
  - titre ;
  - résumé ;
  - introduction ;
  - méthode ;
  - résultats ;
  - discussion ;
  - financement.
- Diagramme de flux : *Fig. 1*.

## Traduction française originale :

La traduction ici proposée est originale et inédite.

## • Méthode générale

La grille anglophone initiale a été reproduite à l'identique afin d'en conserver la disposition. Chaque item a été traduit séparément ; en ajoutant la traduction sous le texte original afin de permettre une vérification analytique ultérieure. Les locutions et termes méconnus, équivoques ou susceptibles de confusion ont systématiquement été relevés pour faire l'objet de recherches approfondies au sujet de leur usage francophone spécifique en méthodologie, y compris statistique, et dans le contexte des listes de contrôle [4–12]. Lorsque les ressources documentaires ne suffisaient pas à résoudre les incertitudes – notamment les expressions francophones les plus usitées, des personnes compétentes, identifiées grâce à leurs publications sur le thème traité ou à leurs fonctions professionnelles, ont été interrogées ponctuellement sur des questions précises mais contextualisées. Leurs réponses ont permis de lever les doutes ou d'identifier de nouveaux supports documentaires, voire d'autres personnes ressources.

Une relecture d'ensemble a ensuite été réalisée à des fins d'harmonisation. La traduction obtenue a ensuite été comparée à d'autres grilles.

Enfin, la traduction a été soumise simultanément à deux professionnels anglophones indépendants pour validation externe ; leurs propositions ont été intégrées et adressées séparément l'une à l'autre lorsqu'elles étaient

## RÉFÉRENCE ORIGINALE

## Acronyme et intitulé complet :

PRISMA : *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*

## Objet des lignes directrices :

Revue systématique et méta-analyses

## Site Internet officiel :

<http://www.prisma-statement.org>

## Dates de référence :

- 1996 : création du guide QUOROM (*Quality Of Reporting Of Meta-analyses*) [1] ;

Tableau I. Traduction française originale de la liste de contrôle PRISMA 2009 (suite).

Section/sujet	N°	Critères de contrôle	Page N°
<b>RÉSULTATS</b>			
Sélection des études	17	Indiquer le nombre d'études triées, examinées en vue de féligibilité, et incluses dans la revue, avec les raisons d'exclusion à chaque étape, de préférence sous forme d'un diagramme de flux.	
Caractéristiques des études sélectionnées	18	Pour chaque étude, présenter les caractéristiques pour lesquelles des données ont été extraites (par exemple : taille de l'étude, PICOS, période de suivi) et fournir les références.	
Risque de biais relatif aux études	19	Présenter les éléments sur le risque de biais de chaque étude et, si possible, toute évaluation des conséquences sur les résultats (voir item 12).	
Résultats de chaque étude	20	Pour tous les résultats considérés (positifs ou négatifs), présenter, pour chaque étude : (a) une brève synthèse des données pour chaque groupe d'intervention ; (b) les amplitudes d'effets estimés et leurs intervalles de confiance, idéalement avec un graphique en forêt ( <i>forest plot</i> ).	
Synthèse des résultats	21	Présenter les principaux résultats de chaque méta-analyse réalisée, incluant les intervalles de confiance et les tests d'hétérogénéité.	
Risque de biais transversal aux études	22	Présenter les résultats de l'évaluation du risque de biais transversal aux études (voir item 15).	
Analyse complémentaire	23	Le cas échéant, donner les résultats des analyses complémentaires (par exemple : analyses de sensibilité ou en sous-groupes, méta-régression [voir item 16]).	
<b>DISCUSSION</b>			
Synthèse des niveaux de preuve	24	Résumer les principaux résultats, ainsi que leur niveau de preuve pour chacun des principaux critères de résultat ; examiner leur pertinence selon les publics concernés (par exemple : établissements ou professionnels de santé, usagers et décideurs).	
Limites	25	Discuter des limites au niveau des études et de leurs résultats (par exemple : risque de biais), ainsi qu'au niveau de la revue (par exemple : récupération incomplète de travaux identifiés, biais de notification).	
Conclusions	26	Fournir une interprétation générale des résultats dans le contexte des autres connaissances établies, et les impacts pour de futures études.	
<b>FINANCEMENT</b>			
Financement	27	Indiquer les sources de financement de la revue systématique et toute autre forme d'aide (par exemple : fourniture de données) ; rôle des financeurs pour la revue systématique.	

<sup>a</sup>Note du traducteur : Patient, problem or population, Intervention, Comparison, control or comparator, Outcomes, Study design

contradictoires, pour être confrontées, discutées et régularisées ; en cas de discordance persistante l'auteur décidait en privilégiant les principes de fidélité au texte initial et de conformité aux usages francophones. Le résultat obtenu a été soumis à un méthodologiste expérimenté pour relecture finale.

Il n'a pas été effectué de traduction inversée (*back-translation*) par défaut de traducteur subsidiaire maîtrisant suffisamment les subtilités méthodologiques de ces contenus spécifiques.

#### • Commentaires particuliers

La traduction intègre la correction de l'item 21 recommandée sur le site officiel, et tel que spécifié dans le document d'explications [3] : « *Present the main results of the review. If meta-analyses are done, include for each, confidence intervals and measures of consistency* ».

L'acronyme anglophone de la méthode « PICOS » a été conservé ; sa signification complète est précisée en note de bas de page.

L'expression anglophone couramment utilisée « *risk ratio* » a été conservée puisqu'il s'agit d'une méthode de calcul du risque relatif qui prend en compte le délai de survenue des événements, et ne peut donc être complètement assimilée à la notion de « risque relatif » [13,14].

L'expression anglophone « *measures of consistency* » a été traduite par la locution « tests d'hétérogénéité », plus usuelle dans le langage francophone pour désigner les moyens de vérifier l'hypothèse d'homogénéité [10,13,15,16].

Pour faciliter l'appropriation de la traduction, l'appellation anglophone « *forest plot* », très couramment utilisée par les professionnels francophones, est citée entre parenthèses à la suite de sa traduction officielle « *graphique en forêt* », moins connue mais aussi employée.

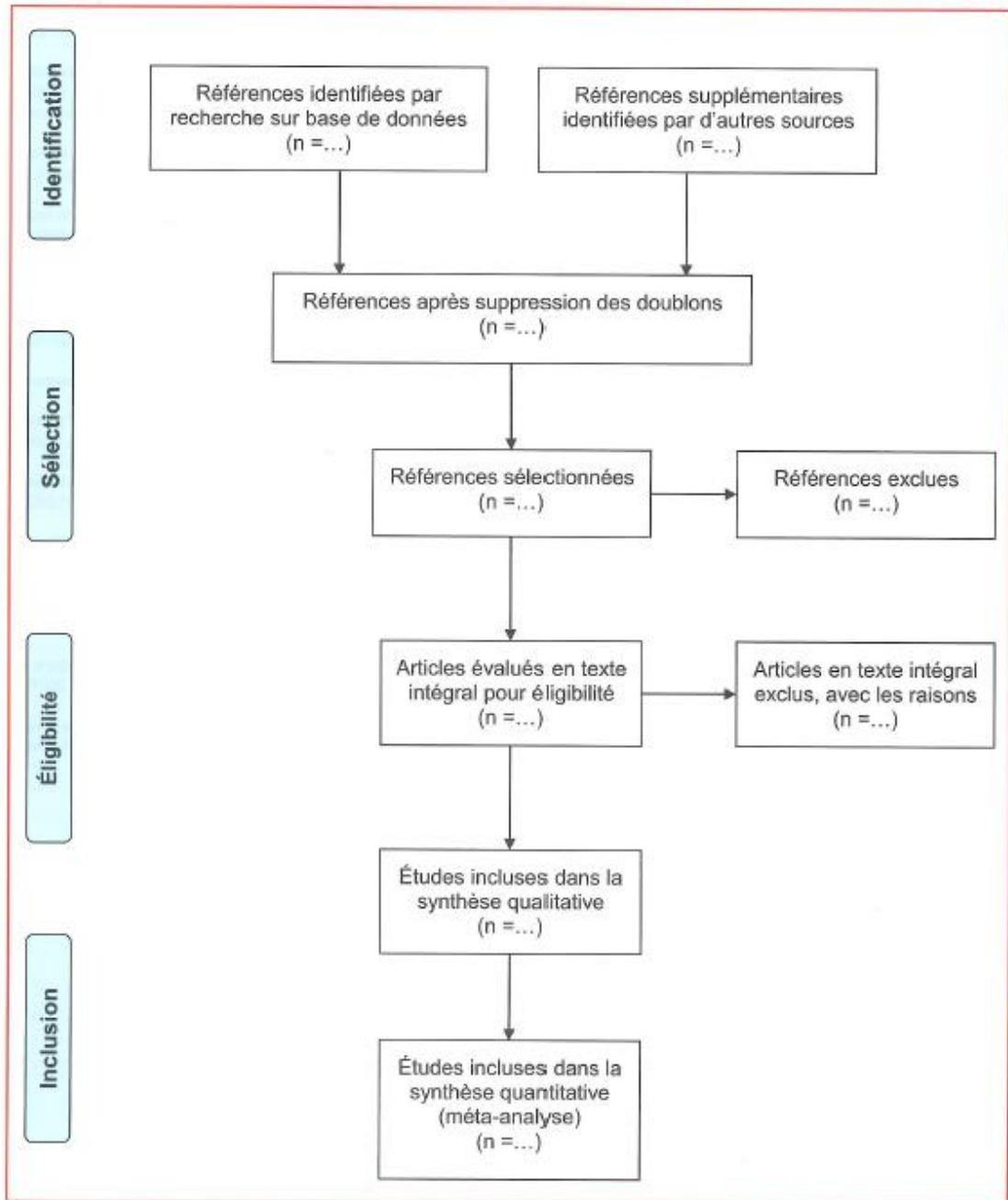


Figure 1. Traduction française originale du diagramme de flux PRISMA 2009.

**Déclaration d'intérêts**

L'auteur déclare ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

**Remerciements**

Jacques BÉNICHOU, CHU Rouen  
 Natalie CLAIROUX, Université de Montréal  
 Cyrille DUCLOS, Université de Montréal  
 Hannah FRANCE, Montreuil-sur-Mer  
 Francis GUILLEMIN, INSERM, CHU de Nancy  
 Michel LAURENCE, Haute Autorité de Santé  
 Benjamin RICHE, Université Lyon 1, CNRS  
 Joannah ROBERTSON, CHU de Nantes

**RÉFÉRENCES**

- [1] Moher D, Cook DJ, Eastwood S, Olkin I, Rennie D, et al., for the QUOROM group. Improving the quality of reporting of meta-analysis of randomized controlled trials: The QUOROM statement. *Lancet* 1999;354:1896–900.
- [2] Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med* 2009;6(7): e1000097 [PMID: 19621072. *BMJ* 2009;339:b2535. PMID: 19622551. *Ann Intern Med* 2009;151(4):264–9. W64. PMID: 19622511. *J Clin Epidemiol* 2009;62(10):1006–12. PMID: 19631508. *Open Med* 2009;3(3):123–30].
- [3] Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gotzsche PC, Ioannidis JP, et al. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Med* 2009;6(7):e1000100 [PMID: 19621070. *BMJ* 2009;339: b2700. PMID: 19622552. *Ann Intern Med* 2009;151(4):W65–94. PMID: 19622512].
- [4] Martin V, Renaud J, Dagenais P. Les normes de production des revues systématiques : Guide méthodologique. Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS); avril 2013 [52 p.].
- [5] Booth A, Papaioannou D, Sutton A. Systematic approaches to a successful literature review. Sage Publications Limited; 2012 [288 p.].
- [6] Rutter D, Francis J, Coren E, Fisher M. SCIE systematic research reviews: Guidelines (2nd ed.). Social Care Institute for Excellence; 2010, <http://www.scie.org.uk/publications/researchresources/r01.asp> [126 p.].
- [7] Balshem H, Helfand M, Schunemann HJ, Oxman AD, Kunz R, Brozek J, et al. GRADE guidelines: 3. Rating the quality of evidence. *J Clin Epidemiol* 2011;64(4):401–6.
- [8] Eden J, Levit L, Berg A, Morton S. Finding what works in health care: Standards for systematic reviews. Institute of Medicine (IOM). Washington, DC: National Academies Press; 2011, <http://www.iom.edu/Reports/2011/Finding-What-Works-in-Health-Care-Standards-for-Systematic-Reviews.aspx> [340 p.].
- [9] Gotzsche PC, Hrobjartsson A, Maric K, Tendam B. Data extraction errors in meta-analyses that use standardized mean differences. *JAMA* 2007;298(4):430–7.
- [10] Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG. Measuring inconsistency in meta-analyses. *BMJ* 2003;327:557–60.
- [11] Vandaele S. Les essais cliniques en pleine évolution (2<sup>e</sup> partie) : Outcome et endpoint, une histoire sans fin. *Pharmaterm. Bulletin terminologique de l'industrie pharmaceutique* 1998;9(4):1–4.
- [12] Egger M, Davey Smith G, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple graphical test. *BMJ* 1997;315:629–34.
- [13] Cucherat M. Méta-analyse des essais thérapeutiques. Masson; 1997 [390 p.].
- [14] Prescrire Rédaction. Lectures critiques Prescrire B.A.-BA N° 2 : Différence des risques absolus, risque relatif, variation relative du risque, nombre de patients à traiter (NNT). *Rev Prescrire* 2011;31 (338):1–4 [957].
- [15] Chevalier P, van Driel M, Vermeire E. Hétérogénéité dans les synthèses méthodiques et méta-analyses. *Minerva F* 2007;10 (6):160.
- [16] Cucherat M, Leizorovicz A. La méta-analyse des essais thérapeutiques. Concepts et interprétation des résultats. *MT Thérapeutique* 2007;13(4):311–6.

## Annexe II : Points clés des études incluses

Auteurs	Federici et al. (2015)	Lajeunesse et al. (2016)	Miller et al. (2016)	Wall et al. (2015)
Date de l'article	2015	2016	2016	2015
Type exosquelettes	Powered and active lower limb exoskeleton	Powered lower limb exoskeleton	Powered exoskeleton	Overground robots
Noms des exosquelettes	ABLE system™ ARGO® (Advanced Reciprocating Gait Orthosis®) ATLAS® Bionic Leg™ eLEGS™ Ekso™ HAL® HULC™ (Human Universal Load Carrier™) MINA® (X1 robotic exoskeleton®) MindWalker Exoskeleton® ReWalk™ Tibion Bionic Technologies® Vanderbilt lower limb exoskeleton® Walking Assistance Device®	Ekso™ Indego® MINA® ReWalk™ Rex®	Ekso™ Indego® ReWalk™	HAL®
Type de lésion	Lésion de la moelle épinière (LME) Accident vasculaire cérébral (AVC) Paralysie cérébrale Maladie infectieuse	LME (complet, incomplet)	LME	AVC LME
Application des exosquelettes	Rehabilitation	Aide à la marche		
Moment de la rééducation			Subaigu, chronique	Aigu et chronique
M. Aubry et M. Paupe		BA14		XIII

Auteurs	Federici et al. (2015)	Lajeunesse et al. (2016)	Miller et al. (2016)	Wall et al. (2015)
Nombre études utilisées	27	7	14	7
Nombre participants	144		111	140
Etudes	Aach et al., (2013) Aach et al., (2014) Belforte et al., (2001) Bishop et al., (2012) Esquenazi et al., (2012) Farris et al., (2014) Farris et al., (2011) Farris et al., (2012) Ikehara et al., (2011) Kawamoto et al., (2010) Kolakowsky et al., (2013) Mori et al., (2006) Neuheus et al., (2011) Nilsson et al., (2014) Quintero et al., (2012) Sanz-Merodio et al., (2012) Szesny-Kaiser et al., (2013) Spungen et al., (2013) Stein et al., (2014) Strausser et al., (2011) Strausser et al., (2010) Sylos-Labani et al., (2014) Talaty et al., (2013)	Asselin et al., (2013) Esquenazi et al., (2012) Farris et al., (2013) Neuheus et al., (2011) Spungen et al., (2013) Talaty et al., (2013) Zeilig et al., (2012)	Arazpour et al., (2013) Asselin et al., (2015) Benson et al., (2016) Esquenazi et al., (2012) Evans et al., (2015) Fineberg et al., (2013) Hartigan et al., (2015) Kolakowsky-Hayner et al., (2013) Kozlowski et al., (2015) Kressler et al., (2014) Spungen et al., (2013) Talaty et al., (2013) Yang et al., (2015) Zeilig et al., (2012)	Aach et al., (2014) Kawamoto et al., (2013) Kubota et al., (2013) Maeshima et al., (2011) Nilsson et al., (2014) Ueba et al., (2013) Watanabe et al., (2014)

Auteurs	Federici et al. (2015)	Lajeunesse et al. (2016)	Miller et al. (2016)	Wall et al. (2015)
	Tsukahara et al., (2009)			
	Tsukahara et al., (2010)			
	Watanabe et al., (2014)			
	Zeilig et al., (2012)			
TUG	x	x		x
10 MWT	x	x		x
6 MWT	x	x	x	x
BBS	x			x
Walking speed	x			
Knee joint ankle and torque	x			
Distance walked in the certain time period	x			
Ahworth	x			
Fulg Meyer	x			x
FAC				x
Safety	x	x	x	
Satisfaction		x		
Performance of skills and task without assistance		x		
Puls		x	x	
BORG			x	
Baisse spasticité (self-reported)			x	

## Annexe III : Grille d'évaluation R-AMSTAR



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

\*AMSTAR révisé

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

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

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

#### Éléments AMSTAR

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

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

###### Critères

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

###### Conditions d'attribution du score

3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1

###### Explication A. :

Il doit être dit explicitement que le protocole a été publié ou inscrit, par exemple dans PROSPERO, registre de revues systématiques prospectif et multinational accessible en ligne.  
C. La question renferme les critères PICO, soit Population, Intervention (ou exposition), Comparateur (ou témoins) et Résultats (Outcomes).

Score :

Commentaire :

Traduction en français : Institut national d'excellence en santé et en services sociaux [www.inesss.gc.ca](http://www.inesss.gc.ca)

Institut national  
d'excellence en santé  
et en services sociaux  
Québec

Rapport-gratuit.com



---

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

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

<i>Critères</i>
A. Données extraites par <b>au moins deux</b> personnes, de façon indépendante (déclaration explicite ou implicite)
B. Énoncé sur le <b>processus de consensus</b> pour le règlement des différends
C. Résolution des désaccords entre les personnes ayant extrait les données conformément à la méthode établie (déclaration explicite ou implicite)
<i>Conditions d'attribution du score</i>
3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1

Score :  
Commentaire :

---

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

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

<i>Critères</i>
A. Au moins deux sources électroniques ont été utilisées.
B. L'horizon temporel et les bases de données interrogées sont indiqués.
C. Les mots clés et (ou) les termes MeSH sont indiqués et, si possible, la stratégie de recherche est exposée.
D. Toutes les recherches sont complétées par la consultation des tables des matières de revues scientifiques récentes, de revues de la littérature, de manuels ainsi que de registres et par l'examen des références fournies dans les études répertoriées.
E. Une recherche manuelle a été effectuée dans les revues.
<i>Conditions d'attribution du score</i>
4 ou 5 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1
<i>Explication E. :</i>
La recherche manuelle consiste à repérer les revues très pertinentes et à faire une recherche à la main, page par page, de leur contenu afin de relever d'éventuelles études admissibles.

Score :  
Commentaire :

---

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

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

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

---

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

Une liste des études incluses et exclues doit être fournie.

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

---

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

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

<p><i>Critères</i></p> <p>A. Les données portant sur les sujets qui ont participé aux études originales, les interventions qu'ils ont reçues <b>et</b> les résultats sont regroupées, sous forme de tableau, par exemple.</p> <p>B. Les auteurs précisent l'étendue des données sur les caractéristiques <b>pertinentes</b> des sujets des études analysées.</p> <p>C. L'information fournie semble complète et exacte.</p> <p><i>Conditions d'attribution du score</i> 3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1</p>	<p>Score :</p> <p>Commentaire :</p>
---	-------------------------------------

---

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

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

<p><i>Critères</i></p> <p>A. Les méthodes a priori sont indiquées.</p> <p>B. La qualité scientifique des études incluses <b>semble valable</b>.</p> <p>C. Le niveau de preuve est exposé, dûment reconnu ou pris en considération.</p> <p>D. La qualité des preuves est évaluée ou classée en fonction d'outils d'évaluation de la preuve.</p> <p><i>Conditions d'attribution du score</i> 4 critères → 4, 3 → 3, 2 → 2, 1 ou 0 → 1</p> <p><i>Explications D. :</i> Un outil d'évaluation de la preuve est un instrument qui sert à établir le niveau de preuve. Ex. : l'outil GRADE (<i>Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation</i>).</p>	<p>Score :</p> <p>Commentaire :</p>
--	-------------------------------------

---

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

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

---

#### Critères

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

#### Conditions d'attribution du score

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

Score :

Commentaire :

---

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

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

---

#### Critères

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

#### Conditions d'attribution du score

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

Score :

Commentaire :

---

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

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

<p><i>Critères</i></p> <p>A. Prise en compte du biais de publication ou de l'effet tiroir</p> <p>B. Outils graphiques (diagramme de dispersion des études, par exemple)</p> <p>C. Tests statistiques (test de régression d'Egger, par exemple)</p> <p><i>Conditions d'attribution du score</i></p> <p>3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1</p>	<p>Score :</p> <p>Commentaire :</p>
---	-------------------------------------

---

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

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

<p><i>Critères</i></p> <p>A. Présentation des sources de soutien</p> <p>B. Absence de conflit d'intérêts – On est ici dans la subjectivité; peut-être faudra-t-il y aller par déduction ou fouiller quelque peu.</p> <p>C. Prise en compte ou énoncé des sources de soutien ou des conflits d'intérêts dans les <b>principales</b> études incluses</p> <p><i>Conditions d'attribution du score</i></p> <p>3 critères → 4, 2 → 3, 1 → 2, 0 → 1</p>	<p>Score :</p> <p>Commentaire :</p>
---	-------------------------------------

---

Score de qualité maximal : 44

Score de qualité :

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

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

## Annexe IV : Résultats AMSTAR

Auteurs	Federici et al. (2015)	Lajeunesse et al. (2016)	Miller et al. (2016)	Wall et al. (2015)
AMSTAR 1	B, C 3	B, C 3	B, C 3	B,C 3
AMSTAR 2	A, B, C 4	1	B, C 3	C 2
AMSTAR 3	A, B, C, D, E 4	A, B, C, E 4	A, B, C, D, E 4	A,C,D 3
AMSTAR 4	A, B 3	A, B, C 4	A, B 3	A,B 3
AMSTAR 5	A, C 2	A, C 2	A, C 2	A,C 2
AMSTAR 6	1	A, B, C 4	A, B, C 4	A, B, C 4
AMSTAR 7	B 1	A, B, C, D 4	A, B 2	A, C, D 3
AMSTAR 8	1	A, C 2	A, C 2	C, D 2
AMSTAR 9	A, C 2	1	A, C, D 3	A, C 2
AMSTAR 10	1	1	1	A 2
AMSTAR 11	B 2	B 2	A, B 3	B, C 3
Total AMSTAR	24/44	28/44	30/44	29/44
Total en pourcentage	55.81%	65.11%	69.77%	67.44%

### TEST DE MARCHE DE 6 MINUTES

---

#### 1. Domaine

Thérapie respiratoire

#### 2. Définition

Le test de marche de 6 minutes (TM6) est un test de terrain, validé et couramment utilisé pour évaluer la capacité fonctionnelle à un niveau sous-maximal, et les effets du réentraînement à l'effort des patients cardiaques et pulmonaires.

#### 3. Indications

- Évaluation initiale du retentissement d'une pathologie respiratoire sur la tolérance à l'effort
- Évaluation de l'impact d'un programme de réentraînement à l'effort
- Évaluation de l'impact d'un traitement médicamenteux
- Identification et quantification d'une désaturation à l'effort
- Prescription d'une oxygénothérapie de déambulation
- Évaluation de l'impact d'une oxygénothérapie de déambulation.

#### 4. Précautions, contre-indications

- Infarctus du myocarde datant de moins d'un mois
- Angor instable
- Hypertension artérielle systémique non contrôlée
- Maladie valvulaire aortique sévère symptomatique
- Thrombophlébite évolutive et/ou embolie pulmonaire récente
- Péricardite aiguë
- Asthme instable
- Insuffisance respiratoire chronique décompensée
- Instabilité hémodynamique.

#### 5. Déroulement du traitement

- a) Le patient doit être habillé confortablement et être bien reposé
- b) Les paramètres de départ – tension artérielle (TA), niveau de dyspnée (Voir "Echelle de Borg modifiée" en annexe), saturation (SpO<sub>2</sub>) et pulsations (FC) – sont à prendre après que le patient soit resté assis pendant au moins 10 minutes devant la ligne de départ.
- c) Il est important de lire les instructions suivantes au patient:

*"Le but de ce test est de marcher le plus possible pendant 6 minutes. Vous marcherez aller et retour dans ce couloir. Marcher 6 minutes, c'est long, et donc vous devrez faire un effort. Vous allez probablement vous sentir hors d'haleine et fatigué. Vous pouvez donc ralentir, vous arrêter ou vous reposer si nécessaire. Vous pouvez vous appuyer contre le mur pendant le repos, mais reprendre la marche dès que possible.*

*Vous parcourrez le couloir aller et retour en tournant autour des cônes. Vous devez contourner les cônes et continuer sans hésiter. Maintenant, je vais vous montrer. Voilà comment je fais demi-tour sans hésiter.*

*Pendant le test, vous ne pouvez pas parler, car cela influence vos performances.*

*Je vous indiquerai le temps restant toutes les minutes.*

*Je vous demanderai de vous arrêter après 6 minutes.*

*Êtes-vous prêt ? Je vais compter les demi-tours que vous faites.*

*Rappelez-vous que vous devez marcher aussi loin que possible pendant 6 minutes, mais sans courir.*

*Allez-y maintenant ou dès que vous êtes prêt."*

Le chronomètre est enclenché lorsque le patient commence à marcher.

- d) Durant l'épreuve, les repères temporels suivants sont donnés au patient de manière standardisée:
- "C'est très bien, continuez ainsi" à 30 secondes
  - "C'est très bien, plus que 5 minutes, continuez ainsi" à la première minute.
  - "C'est très bien, continuez ainsi" à 1 minute 30 secondes
  - "C'est très bien, plus que 4 minutes, continuez ainsi" à la deuxième minute.
  - "C'est très bien, continuez ainsi" à 2 minutes 30 secondes
  - "C'est très bien, plus que 3 minutes, continuez ainsi" à la troisième minute.
  - "C'est très bien, continuez ainsi" à 3 minutes 30 secondes
  - "C'est très bien, plus que 2 minutes, continuez ainsi" à la quatrième minute.
  - "C'est très bien, continuez ainsi" à 4 minutes 30 secondes
  - "C'est très bien, plus que 1 minutes, continuez ainsi" à la cinquième minute.
  - "C'est très bien, continuez ainsi" à 5 minutes 30 secondes
  - "Je vais bientôt vous dire de vous arrêter" à 5 minutes 45 secondes
  - "Et maintenant, arrêtez-vous" à 6 minutes
- e) Pendant le test, l'opérateur marche derrière le patient et note la distance parcourue, la FC et la SpO<sub>2</sub> à la 2ème, 4ème et 6ème minute du test et d'éventuelles remarques telles que les arrêts et leur durée ou les symptômes ressentis par le patient.
- f) A la 6ème minute, l'opérateur note également le niveau de dyspnée.
- g) Le patient se repose, alors, assis jusqu'à ce que sa FC et sa SpO<sub>2</sub> aient rejoint leur valeur mesurée au départ. Le praticien note, alors, le temps nécessaire pour que ces valeurs reviennent à leur niveau de départ.

Remarques:

- Pour une bonne reproductibilité du test, il est important d'utiliser toujours le même parcours pour le même sujet.
- Encouragements: le test se pratiquera SANS ENCOURAGEMENT.
- Oxymètre de poils: s'assurer du bon fonctionnement de l'oxymètre de poils.

## 6. Risques

## 7. Situations spéciales

Si la SpO<sub>2</sub> descend sous 90% lors de l'épreuve, il est nécessaire de recommencer le test sous oxygène, sauf avis médical autorisant la réalisation ou la poursuite du test sans apport d'oxygène.

Lors de l'évaluation d'une oxygénothérapie à l'effort, le patient déplace lui-même sa source d'oxygène.

## 8. Matériel utilisé + entretien

- Couloir de 30 à 50 mètres étalonné tous les 3 ou 5 mètres
- Chronomètre
- 2 cônes
- Une chaise mobilisable dans le couloir
- Fiche sur support rigide ou un bloc-notes, un stylo
- Une échelle visuelle analogique d'évaluation de la dyspnée
- Une source d'oxygène portable et un système d'administration (lunettes, masque)
- Oxymètre de pouls
- Tensiomètre
- Téléphone
- (défibrillateur)

## 9. Bibliographie

- ATS Statement : Guidelines for the six-minute walk test. Am J Respir Crit Care Med 2002 ; 166 : 111-7.
- Elpern EH, Stevens D, Kesten S : Variability in performance of timed walk tests in pulmonary rehabilitation programs. Chest 2000 ; 118 : 98-105.
- Enright PL, Sherrill DL : Reference equations for the six-minute walk in Healthy adults. Am J Respir Crit Care Med 1998 ; 158 : 1384-7.
- Guyatt GH, Pugsley SO, Sullivan MJ, Thompson PJ, Berman LB, Jones NL, Fallen EL, Taylor DW : Effect of encouragement on walking test performance. Thorax 1984 ; 39 : 818-22.
- Knox AJ, Morisson JFJ, Muers MF : Reproducibility of walking test results in chronic obstructive airways disease. Thorax 1988 ; 43 : 388-92.
- Marek W, Marek E, Vogel P, Mückenhoff K, Kotschy-Lang N. : A New Procedure for the Estimation of Physical Fitness of Patients during Clinical Rehabilitation using the 6-Minute-Walk-Test. Pneumologie. 2008 Aug 18.
- Miyamoto S, Nagaya N, Satoh T, Kyotani S, Sakamaki F, Fujita M, Nakanishi N, Miyatake K. : Clinical correlates and prognostic significance of six-minute walk test in patients with primary pulmonary hypertension. Comparison with cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med. 2000 Feb;161(2 Pt 1):487-92.
- Poulain M, Durand F, Palomba B, Ceugniet F, Desplan J, Varray A, Préfaut C : 6-minute walk testing is more sensitive than maximal incremental cycle testing for detecting oxygen desaturation in patients with COPD. Chest 2003 ; 123 : 1401-7.
- Sciurba F, Criner GJ, Lee SM, Mohsenifar Z, Shade D, Slivka W, Wise RA : Six-minute walk distance in chronic obstructive pulmonary disease. Reproducibility and effect of walking course layout and length. Am J Respir Crit Care Med 2003 ; 167 : 1522-7.
- Trooster T., Gosselink R., Decramer M. : Six minute walking distance in healthy subjects. Eur Resp J 1999 ; 7 : 270-4.
- Trooster T, Vilaro J, Rabinovich R, Casas A, Barbera JA, Rodriguez-Rosin R, Roca J : Physiological responses to the 6-min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. Eur Respir J 2002 ; 20 : 564-9 .

## 10. Validation

<b>Origine :</b> Pascal Lebas; physiothérapeute Equipe de Soins Respiratoires
<b>Approbation:</b> M. J.-B. Michotte, Physiothérapeute, responsable secteur APSI M. D. Monnin, Responsable Recherche/Qualité physiothérapie Pr J.-P. Janssens, Médecin adjoint agrégé, service pneumologie M. A. Laubscher, Directeur des Soins Pr P. Dayer, Directeur médical
<b>Diffusée le:</b> 10.02.2010
<b>Annule et remplace la procédure du:</b> -
<b>Référence:</b> Equipe de Soins Respiratoires
<b>Numéro:</b> 3-04

## Annexe VI : Test de 10 mètres de marche

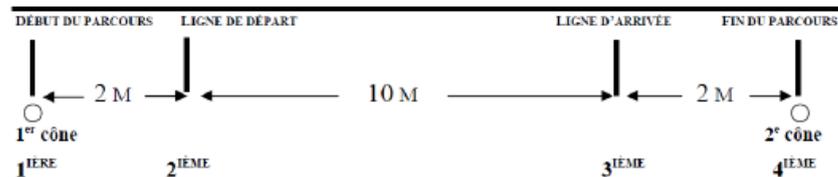
### Test de 10 mètres de marche

#### DESCRIPTION :

Ce test consiste à mesurer le temps requis pour marcher 10 mètres à une vitesse confortable. Il est réalisé sur un parcours de 10 mètres où 2 mètres non comptabilisés en début de parcours sont prévus pour l'atteinte d'une vitesse constante. Les 10 mètres suivant sont donc ceux permettant d'établir la performance locomotrice (durée ou vitesse de marche). Enfin, le cône indiquant la ligne d'arrivée sera placé à une distance de 2 mètres de la fin du parcours afin d'éviter que le client décélère pendant les 10 mètres de marche.

#### MATÉRIEL :

- Un chronomètre
- Un parcours balisé de 10 mètres avec 2 mètres non comptabilisés en début et en fin de parcours
- Deux cônes



Le sujet est chronométré entre la 2<sup>ième</sup> et 3<sup>ième</sup> marque

L'évaluateur est placée à la 2<sup>ième</sup> marque

#### PROCÉDURE D'APPLICATION :

Le sujet reçoit les consignes suivantes :

- 1) Ce test consiste à marcher sur une distance de 10 mètres à une vitesse confortable.
  - 2) Le test débute après le compte « 1, 2, 3, go » et se termine lorsque je vous dirai d'arrêter.
  - 3) Vous pouvez utiliser votre accessoire de marche pendant le test si nécessaire.
  - 4) Pendant le test, je ne vous donnerai pas d'encouragement.
  - 5) Avez-vous des questions ?
- Au début du test, l'évaluateur est placé à la ligne de départ qui est située 2 mètres après le début du parcours (1<sup>er</sup> cône), avec un chronomètre en main et part ce dernier lorsque le sujet franchit la ligne de départ.
  - L'évaluateur suit ensuite le sujet tout au long du parcours et arrête le chronomètre lorsque ce dernier franchit la ligne d'arrivée (2 mètres avant la fin du parcours).
  - Tout au long du trajet, l'évaluateur doit éviter d'encourager le sujet.
  - L'évaluateur doit noter sur le formulaire l'utilisation d'une aide ambulatoire, les chaussures portées par le client lors de la réalisation du test, le résultat du test ainsi que des commentaires si nécessaire.

*RÉFÉRENCE* Salbach M, Mayo NE, Higgins J, Ahmed S, Finch LE, Richards CL. Responsiveness and predictability of gait speed and other disability measures in acute stroke. Arch Phys Med Rehabil 2001 ; 82 : 1204-12.

## Annexe VII : Time Up and Go

### Timed up and go Test (TUG)

Podsiadlo D, Richardson S. The timed „up&go“: a test of basic functional mobility for frail elder persons. J Am Geriatr Soc 1991;39:142-148.

Schädler S et al. Assessments in der Neurorehabilitation. Huber Verlag 2006.

Le test Timed up and go (TUG) est recommandé par les sociétés de gériatrie américaine et britannique pour examiner la mobilité d'un patient. Il peut être fait avec ou sans chronométrage, mais ne renseigne pas très précisément sur le risque direct de chute.

Bref descriptif:

1. Demandez au patient de se lever d'une chaise avec dossier, de s'éloigner de 3 mètres, puis de revenir vers la chaise pour y reprendre place.
2. Mesurez le temps pris par le patient pour cette activité. Il peut utiliser ses moyens auxiliaires d'aide à la marche.

Evaluation:

Temps nécessaire < 14 secondes → normal

Temps nécessaire 20 – 30 secondes → limitation (légère) de la mobilité

Temps nécessaire > 30 secondes → limitation importante de la mobilité