

Faculté des sciences de la motricité

Les exosquelettes robotisés de la marche: Apports et limites en rééducation fonctionnelle chez les enfants atteints de paralysie cérébrale

Umbrella review

Auteur : Manon Dégardin
Promoteurs : Laura Wallard, Robert Hardwick
Année académique 2024-2025
Master en kinésithérapie et réadaptation
[60.0] - KINE2M

UCLouvain FSM : Déclaration d'utilisation des aides et outils Intelligence Artificielle (IA)

J'ai utilisé l'IA pour ce projet : ☒ Oui
☐ Non

Si vous avez utilisé l'IA dans ce travail, veuillez préciser comment ci-dessous :

Texte (par exemple, vérification orthographique, génération de texte, production d'idées, ...)

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Vérification orthographique, syntaxique et grammaticale
Traduction de texte
Amélioration de la fluidité rédactionnelle de certaines phrases
Aide pour des manipulations sur Google Sheets (ex: utiliser une formule de base, figer la première ligne, enlever les bordures d'un tableau...) et Google doc.
Amélioration de la netteté d'une figure
Application des règles de citation selon le style APA

Images

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Code, aide à la programmation, ou algorithmes

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Autres utilisations

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

Je connais les règles de de la Faculté des sciences de la motricité de l'UCLouvain en matière d'intelligence artificielle. Je déclare que toute utilisation d'aides ou d'outils d'intelligence artificielle est explicitement mentionnée dans le présent formulaire de déclaration

Nom	Dégardin	Prénom	Manon
-----	----------	--------	-------

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Laura Wallard et Émilie Mathieu pour la qualité de leur supervision tout au long de cette étude. Leur disponibilité, leur accompagnement régulier et la pertinence de leurs conseils m'ont grandement aidé à chaque étape du projet. Leurs partages d'expérience en tant qu'enseignantes-chercheuses ont renforcé mon intérêt pour la recherche.

Je remercie également l'ensemble des membres du laboratoire LAMIH pour leur accueil chaleureux et leur bienveillance, qui m'ont permis d'évoluer dans un environnement stimulant.

Un grand merci à Monsieur Hardwick pour sa disponibilité, son accessibilité et son engagement en tant que co-promoteur de ce mémoire.

Je suis également reconnaissante envers ma famille et mes proches pour leur soutien constant tout au long de mes années universitaires.

Enfin, je remercie les lecteurs et lectrices pour le temps qu'ils consacreront à la lecture de ce mémoire.

Tables des matières

Abréviations.....	5
<i>I/ Introduction.....</i>	6
<i>II/ Etat de l'art</i>	8
A) La paralysie cérébrale: généralités	9
B) Classification des formes de la paralysie cérébrale	9
C) Conséquences et classification fonctionnelle	11
D) Les différentes prises en charge de la PC	13
E) Les exosquelettes: une nouvelle approche	15
1. Définition et historique	15
2. Les exosquelettes passifs	16
3. Les exosquelettes actifs	16
F) Rééducation de la marche assistée par robotique	17
1. Description du Lokomat.....	18
2. Modèle théorique.....	19
3. Les paramètres modifiables sur le Lokomat.....	21
a) Modification de l'amplitude de la hanche et son influence sur la marche.....	21
b) Décalage de la hanche et son influence sur la marche.....	21
c) Amplitude articulaire du genou.....	22
d) Décalage de l'amplitude du genou.....	22
e) La vitesse.....	22
f) La force de guidage	23
g) Soutien du poids corporel.....	23
G) Avantages et inconvénients de la rééducation avec exosquelettes robotisés de la marche.....	23
H) Problématique, hypothèses et objectifs	24
<i>III/ Méthodologie.....</i>	25
A) Conception de l'étude	25
B) Mots clés.....	25
C) Sources d'informations.....	25
D) Stratégie de recherche	25
E) Critères de sélection	26

F) Sélection des études et extraction des données.....	28
IV) Résultats	29
A) Résultats de la recherche bibliographique.....	29
B) Caractéristiques des études incluses	31
C) Variables.....	33
D) Analyse statistique.....	33
E) Caractéristiques relatives aux sujets	34
F) Protocoles.....	35
1. Temps de séance	35
2. Fréquence hebdomadaire des séances.....	36
3. Durée d'intervention (semaine)	38
G) Paramètres posturo-locomoteurs.....	39
1. Longueur de pas.....	39
2. Vitesse de marche.....	40
3. GMFM.....	41
4. Dimension D de la GMFM.....	42
5. Dimension E de la GMFM.....	43
V) Discussion	44
A) Rappel des objectifs	44
B) Supériorité relative de la RAGT selon le type de comparaison.....	44
C) Effet de la RAGT sur la fonction motrice et la locomotion.....	44
D) Influence des paramètres de protocole sur les résultats.....	45
E) Âge et niveau de sévérité optimaux : tendances difficiles à dégager....	46
F) Perspectives	46
G) Limites.....	47
VI) Conclusion.....	47
VII] Bibliographie.....	48

Abréviations

PC	Paralysie cérébrale
RAGT	Robot assisted Gait Therapy
CIF	Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé
GMFCS	Gross Motor Function Classification System
HAS	Haute Autorité de Santé
HABIT-IL	Hand and Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities
GMFM	Mesure de la fonction motrice globale
DMS	Différence moyenne standardisée
IC	Intervalle de confiance
DM	Différence moyenne
TT	Thérapie sur tapis roulant
CT	Traitement conventionnel
10MWT	Test de marche de 10 mètres
6MWT	Test de marche de 6 minutes
COPM	Canadian Occupational Performance Measure
ASK	Activities Scale for kids

I] Introduction

La paralysie cérébrale (PC) est la première cause de handicap moteur chez l'enfant (*Fondation Paralysie Cérébrale*)[\[1\]](#). Dans les pays industrialisés, cette pathologie touche en moyenne par an, deux à trois nouveau-nés pour 1000 naissances (*Haute Autorité de Santé, 2024*)[\[2\]](#). Elle résulte de lésions cérébrales non évolutives survenues sur le cerveau d'un fœtus ou du nourrisson, provoquant des troubles du mouvement, de la posture et de la fonction motrice (*Maaoui, 2023*)[\[3\]](#). Ces limitations impactent fortement les capacités fonctionnelles, mais également leur participation aux activités de la vie quotidienne et par conséquent leur qualité de vie.

C'est pourquoi, la rééducation et la réadaptation de ces enfants doivent être fondées sur une approche fonctionnelle orientée vers la tâche (*Haute Autorité de Santé "HAS, 2021*)[\[4\]](#), dans un but de développer l'indépendance fonctionnelle du patient. Il est recommandé de proposer des exercices de marche aux enfants et adolescents atteints de paralysie cérébrale afin d'améliorer la fonction motrice globale (*HAS, 2021*)[\[4\]](#).

Avec les avancées technologiques au cours des vingt dernières années, les dispositifs robotiques, et notamment en rééducation, n'ont cessé de se développer et de s'améliorer. Ainsi, la thérapie de marche assistée par robot (*Robot assisted Gait Therapy "RAGT"*), en plus du traitement conventionnel, est de plus en plus proposée dans le traitement de la paralysie cérébrale pour aider les enfants à acquérir une marche fonctionnelle afin d'augmenter leur autonomie (*Wallard, 2014*)[\[5\]](#).

Cependant, l'efficacité de ces exosquelettes de la marche reste encore aujourd'hui discutable (*Vezér et al., 2023*)[\[6\]](#). L'état actuel des connaissances scientifiques et cliniques axées rééducation robotisée ne présente pas de réelles recommandations clairement établies concernant la périodicité des programmes et les paramètres d'entraînement de la RAGT chez les enfants atteints de PC. Pourtant, il est important pour un clinicien de savoir à quel moment de la prise en charge l'utiliser, pour combien de séances, à quelle fréquence, pour quelle durée ou encore à quelle intensité et niveau de progression. Cette incertitude quant à

l'efficacité et le manque de directives concernant les paramètres d'entraînement contribuent au fait qu'un grand nombre de revues systématiques se penchent sur le sujet. Pourtant, malgré leur abondance, aucun consensus n'émerge.

C'est pourquoi, un travail d'analyse plus poussé de type *Umbrella Review* a été mené afin de synthétiser les données existantes et d'apporter une vision globale de la pertinence rééducative et des paramètres optimaux d'utilisation des exosquelettes robotisés de la marche dans le cadre d'une rééducation chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale.

II] Etat de l'art

A) La paralysie cérébrale : généralités

La paralysie cérébrale (PC) est un groupe de troubles permanents affectant le développement moteur, le mouvement et la posture, entraînant des limitations d'activité (Rosembaum, 2007)[7]. Elle résulte de lésions cérébrales non progressives survenues sur un cerveau immature, avant l'âge de deux ans, chez le fœtus ou le nourrisson (Rosenbaum, 2007) (Henry et Docquier, 2013)[7] [8]. C'est la première cause de handicap moteur chez l'enfant (Fondation Paralysie Cérébrale)[1]. Dix-sept millions de personnes en sont atteintes dans le monde (Fondation Paralysie Cérébrale)[9]. En Europe, deux naissances sur mille sont concernées par la pathologie. (Surveillance of cerebral palsy in Europe)[10]. Ses causes étant multiples. Parmi elles, on retrouve la prématurité, un accouchement difficile, une infection pré et/ou postnatale (comme le cytomégalovirus, la méningite ou encéphalite) ou encore le syndrome du bébé secoué.

B) Classification des formes de la paralysie cérébrale

Les lésions cérébrales sont permanentes, mais leurs expressions cliniques peuvent évoluer au cours du temps. Elles sont classées en fonction de la topographie (l'hémiplégie, la diplégie, la quadriparésie) et du type de tonus musculaire impliqué (forme spastique, dyskinétique, ataxique et mixte) (Surveillance Of Cerebral Palsy In Europe Guidelines, 2017)[11].

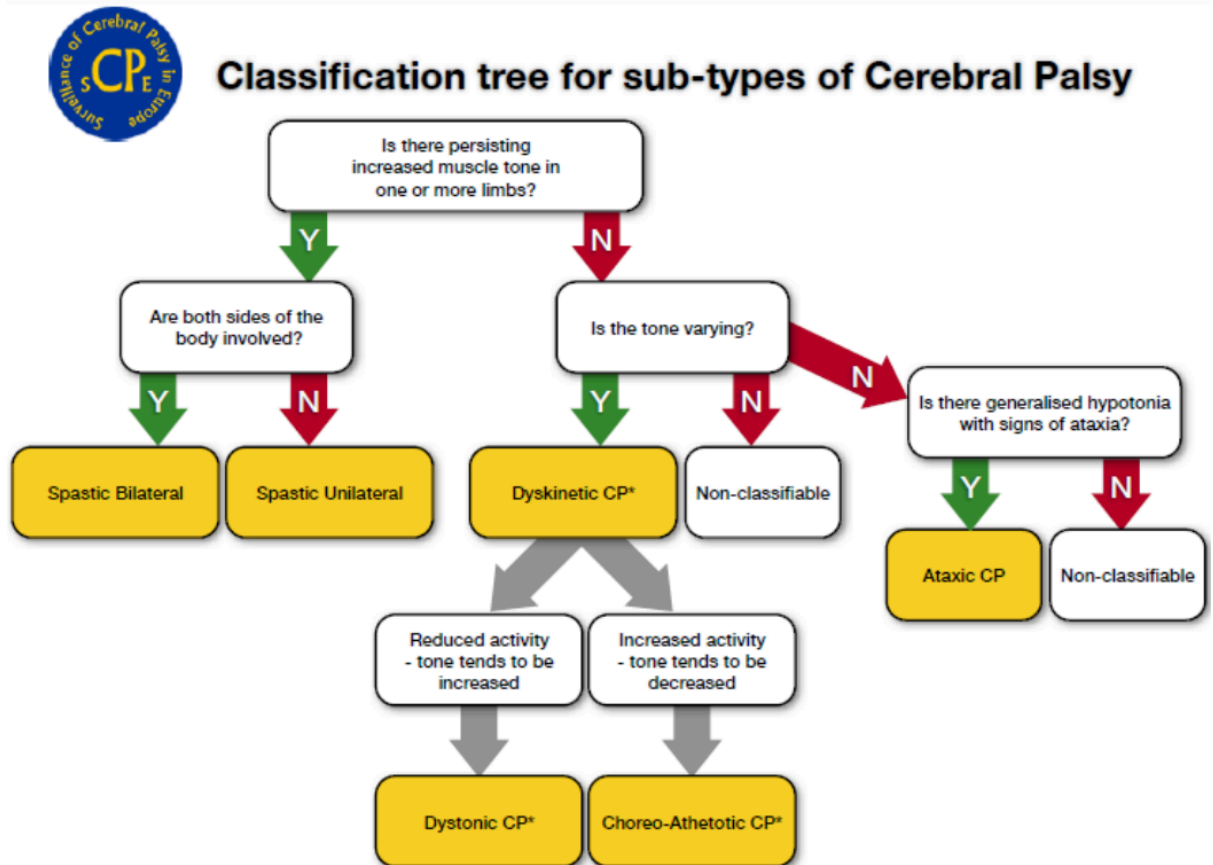


Fig. 1: Classification des sous types de la paralysie cérébrale (Surveillance of cerebral palsy in Europe)[\[11\]](#).

La forme spastique: 70 à 80% des cas. Elle est caractérisée par une hyperactivité involontaire, intermittente ou prolongée de certains muscles squelettiques. Cette hypertonicité va principalement cibler les membres inférieurs et supérieurs. (Pierret, 2020)[\[12\]](#)

La forme dyskinétique: 6% des cas. Elle se définit par des mouvements involontaires, incontrôlés, récurrents et parfois stéréotypés. Elle peut être de forme dystonique caractérisée par une fluctuation du tonus musculaire passant de l'hypertonie à l'hypotonie avec des postures prolongées. Cette forme affecte principalement les extrémités du corps. Tandis que la forme choréo-athétosique affecte majoritairement les parties proximales du corps. Les mouvements sont amples et changeants.

La forme ataxique: 6% des cas. Cette forme est associée à une hypotonie musculaire, à un défaut de coordination motrice volontaire et à des troubles de l'adaptation du geste ce qui entraîne des patterns posturaux et moteurs anormaux.

La forme mixte est une combinaison des différentes formes.

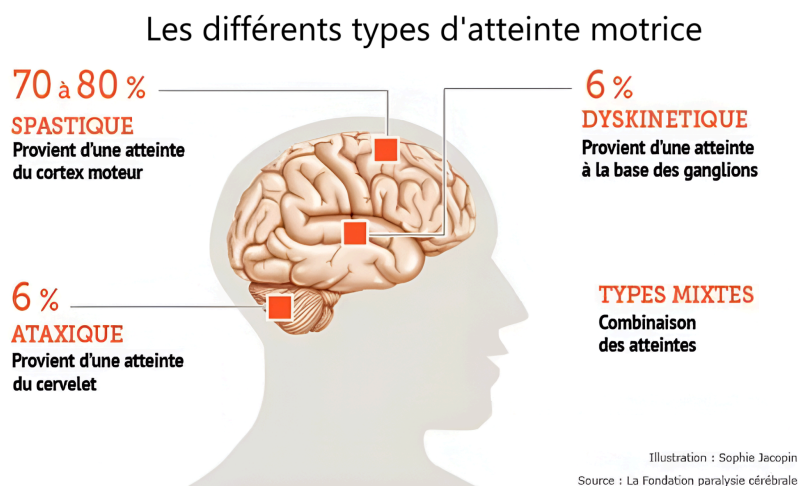


Fig. 2: Les différents types d'atteinte motrice de la PC (Adapté d'après La fondation paralysie cérébrale).

C) Conséquences et classification fonctionnelle

En plus des troubles moteurs et posturaux entraînant des limitations dans les activités (Rosenbaum et al., 2007)[7], les enfants atteints de PC peuvent également développer des troubles de la sensation et de la perception (notamment des troubles de la fonction visuelle, visuopraxiques et visuoperceptifs), ainsi que des altérations de la cognition, de la communication et du comportement. Ils peuvent aussi être sujets à l'épilepsie et des problèmes musculo-squelettiques secondaires (Rosenbaum et al., 2007)[7].

Selon la Classification Internationale du Fonctionnement, du Handicap et de la Santé (CIF) (OMS, 2001)[13], ces limitations d'activités peuvent engendrer des restrictions de participation, influençant la capacité des individus à s'engager dans les activités. Certains auteurs ont démontré une corrélation entre les déficiences, les limitations d'activités et les restrictions de participation chez les enfants atteints de PC (Mutlu et al., 2017)[14]. En effet, le manque d'indépendance fonctionnelle engendrant une restriction de participation aux loisirs ou aux

interactions sociales peuvent nuire à la qualité de vie et le bien être psychologique des personnes atteintes.

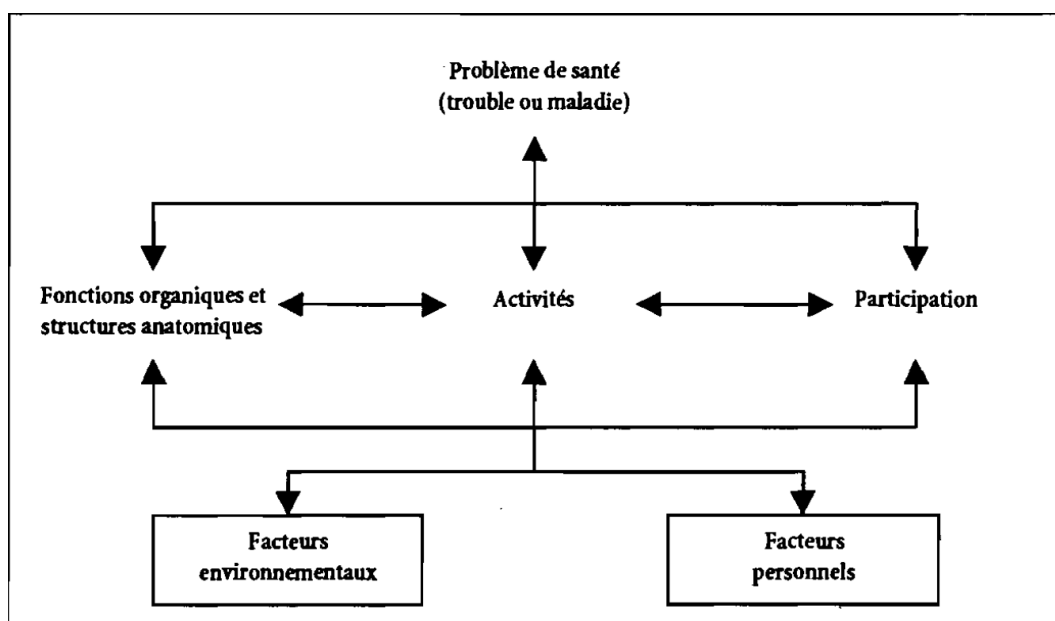


Fig. 3: Interactions entre les composantes de la CIF (OMS, 2001).

Face à la diversité des présentations cliniques, une classification fonctionnelle a été mise en place : *Le Gross Motor Function Classification System* (GMFCS), un outil de classification et d'évaluation fonctionnelle pour décrire les capacités motrices globales des personnes atteintes de PC. La fonction motrice globale étant un prédicteur important du degré de restrictions de participation, tel que défini par la CIF (Beckung et Hagberg, 2022)[\[15\]](#).

Le GMFCS classe les individus en cinq niveaux. Le niveau I représente une déficience moindre et le niveau V à déficience grave (Palisano et al., 1997 ; Paulson et al., 2017)[\[16\]](#) [\[17\]](#). En plus d'être un outil d'évaluation, le GMFCS est utile pour fixer des objectifs réalistes et ainsi élaborer un plan de traitement individualisé (Morris et Bartlett, 2004)[\[18\]](#).

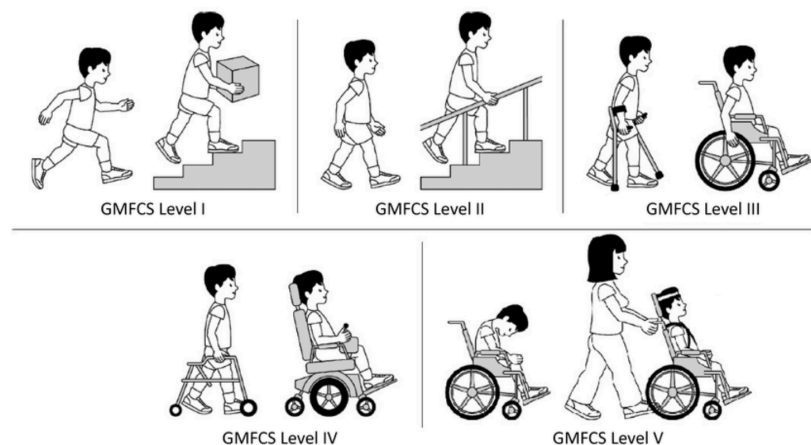


Fig. 4: Classification GMFCS (Palisano et al., 1997 ; Paulson et al., 2017)

Il existe une relation entre le niveau de fonction motrice et la qualité de vie. Les enfants ayant un niveau fonctionnel plus faible (GMFCS III à V) présentent une qualité de vie réduite, particulièrement dans les dimensions physiques et sociales (Puspitasari et al., 2013)^[19]. Plus les limitations motrices sont importantes, plus l'impact sur l'autonomie et la participation est significatif. Pour tous les niveaux du GMFCS, des interventions adaptées doivent être mises en place pour améliorer le bien-être global des enfants atteints de paralysie cérébrale.

D) Les différentes prises en charge de la PC

Un programme de rééducation et réadaptation adapté est nécessaire. La prise en charge se base sur 3 grands principes : intensité, répétition, activités fonctionnelles orientées vers la tâche (Jarrassé, 2010 ; CNOMK, 2024 ; HAS 2021)^{[20][21][4]}. Différentes interventions constituant le "traitement conventionnel" sont mises en place. La HAS considère comme prioritaire certaines d'entre elles.

Premièrement, comme pour de nombreuses pathologies, une éducation thérapeutique du patient et de la famille constitue un axe prioritaire dans la prise en charge (HAS, 2021)^[4]. Le renforcement musculaire hebdomadaire est fortement recommandé (HAS, 2021)^[4]. Il permettrait d'améliorer la capacité musculaire et fonctionnelle et donc d'améliorer la qualité de vie des enfants atteints de PC (Auffray, 2021)^[22]. L'entraînement cardio-respiratoire est aussi fortement recommandé dans le but d'améliorer la fonction motrice globale et les capacités cardio-respiratoires à court moyen et long terme (HAS, 2021)^[4]. L'entraînement à la marche permettant de maintenir ou d'améliorer l'autonomie

(Cortés-Pérez, 2022)[23] devrait aussi faire partie intégrante du traitement. En termes d'appareillage orthopédiques, les recommandations sont fortes concernant l'utilisation d'une orthèse cheville-pied lors de la déambulation en cas d'équin dû à la spasticité (HAS, 2021)[4]. Elles permettent une amélioration de la cinématique des membres inférieurs. Les thérapies intensives sont fortement utilisées dans la rééducation des enfants et adolescents atteints de paralysie cérébrale. Elles reposent sur la réalisation d'activités de rééducation ciblées, effectuées avec un grand nombre de répétitions ou dans des conditions augmentant la charge de travail par rapport à l'intensité habituelle (HAS, 2012)[24]. La thérapie intensive HABIT-ILE (*Hand and Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremities*) se déroule sous forme de stages de 50 à 90 heures selon l'âge de l'enfant. Elle propose des activités ludiques et fonctionnelles qui nécessitent l'utilisation coordonnée des deux mains, tout en sollicitant simultanément le tonus postural et l'activité locomotrice des membres inférieurs. Les thérapeutes élaborent ces activités en fonction des objectifs fonctionnels déterminés en amont avec les parents et les enfants. Les tâches sont organisées de manière progressive, avec une difficulté croissante adaptée aux capacités de l'enfant (Le Maître, 2021)[25]. Cette méthode qui vise à engendrer des changements cérébraux en utilisant le concept d'apprentissage moteur (Bleyenheuft et al., 2014)[26] est aujourd'hui fortement recommandée dans la prise en charge des enfants atteints de PC (HAS, 2021)[4]. Elle permettrait d'améliorer la fonction motrice des membres, les capacités bimanuelles et la fonction d'auto soins. Ensuite, la balnéothérapie pour les enfants présentant un niveau I,II,III,V au GMFCS ainsi que l'activité physique et sportive sont recommandés pour améliorer fonction motrice globale (HAS, 2021)[4]. L'activité physique permettrait aussi d'améliorer certaines dimensions de la qualité de vie, notamment la douleur, la fatigue, les activités scolaires et de la vie quotidienne, le bien-être émotionnel, la fonction physique et sportive ou encore la fonction globale et les symptômes (Fontenas, 2021)[27].

Bien que les traitements conventionnels aient démontré leur efficacité (HAS, 2021)[4], ils présentent certaines limites. La rééducation à la marche peut être éprouvante pour le thérapeute, inconfortable pour l'enfant et parfois insuffisamment intensive pour induire des effets significatifs. Face à ces défis, les

avancées technologiques ont conduit au développement de nouvelles stratégies thérapeutiques, notamment l'utilisation des exosquelettes.

E) Les exosquelettes : une nouvelle approche

1. Définition et historique

Les exosquelettes sont des structures mécaniques articulées, conçues pour interagir physiquement avec le corps humain afin d'assister ou d'amplifier les mouvements. Ils peuvent être ou non motorisés. Initialement développés en 1960 pour améliorer la force et l'endurance dans les domaines militaire et industriel (Payan, 2023)[28]. Les exosquelettes ont progressivement été étudiés pour l'assistance à la marche des patients paraplégiques. Aujourd'hui, ils sont de plus en plus utilisés dans le domaine de la santé et plus particulièrement en rééducation de la marche pour des pathologies neurologiques telles que l'accident vasculaire cérébral (AVC), la lésion médullaire ou la paralysie cérébrale. Cette approche est connue sous le nom de *RAGT "Robot-Assisted Gait Therapy"* RAGT (Rééducation de la marche assistée par robotique.) Il existe des manipulateurs robotisés où le contact s'établit entre l'extrémité de l'appareil et celle du membre du patient. À l'inverse, les exosquelettes robotisés possèdent plusieurs points de contact répartis le long du membre, offrant ainsi une coordination entre les différents segments du membre et un contrôle de l'entière du membre (Jarrassée, 2010)[20]. La mécanique exosquelettique est caractérisée par le nombre de degrés de liberté qu'ils possèdent, les articulations avec lesquelles ils se destinent à interagir, la nature de leur actionnement (électrique, pneumatique, hydraulique) ou la technologie de transmission de puissance (engrenages, câbles, biellettes...) (Gopura, 2009)[29].



Fig. 5: Robot de rééducation
ROBERT® ©Life Science Robotics



Fig. 6: Exosquelette robotisé
(ReWalk Robotics' ReWalk Personal 6.0
Exoskeleton System)

2. Les exosquelettes passifs

Contrairement aux modèles actifs, les exosquelettes passifs ne sont pas motorisés et fonctionnent à l'aide de ressorts ou d'autres mécanismes. Ils sont utilisés principalement pour réduire la fatigue musculaire et prévenir les troubles musculosquelettiques dans des environnements industriels ou pour soutenir certaines fonctions corporelles sans assistance robotisée.



Fig. 7: Exosquelette de type passif (Ergofrance, 2023)[\[30\]](#)

3. Les exosquelettes actifs

Les exosquelettes actifs sont motorisés et équipés de capteurs, ce qui leur permet d'assister les mouvements du patient. On en distingue deux types :

Les exosquelettes d'assistance (fig. 8): Conçus pour les personnes ayant une mobilité réduite, ces dispositifs visent à compenser les déficits moteurs plutôt qu'à restaurer une fonction perdue. Ils sont utilisés au quotidien pour faciliter les déplacements et améliorer la qualité de vie des patients.

Les exosquelettes de la marche sur tapis roulant (fig. 9): Destinés, quant à eux, à la rééducation des patients atteints de troubles neurologiques, ces dispositifs

intègrent une orthèse robotisée, un système de suspension partielle du poids et un tapis roulant. Ils sont utilisés dans les structures hospitalières et les centres de rééducation pour favoriser l'acquisition d'une marche fonctionnelle et améliorer l'autonomie du patient.



Fig. 8: Exosquelette d'assistance (Medidex)



Fig. 9: Système robotisé pour la rééducation de la marche combinant un tapis roulant, une suspension partielle du corps et une orthèse motorisée Lokomat (Medidex)

F) Rééducation de la marche assistée par robotique

Dans le cadre de ce travail, nous nous concentrons sur les exosquelettes actifs dédiés à la rééducation robotisée de la marche. La RAGT consiste à faire marcher un patient dans une orthèse motorisée qui supporte une partie ou l'intégralité du poids du corps. Cette thérapie repose sur différents modes d'assistance. Dans le mode passif, le robot effectue entièrement le mouvement pour le patient, ce mode est adapté aux individus ne possédant aucune capacité motrice. Dans le mode actif aidé, le robot assiste partiellement le mouvement, permettant au patient de participer à l'effort malgré une qualité ou quantité de mouvement réduite.

Parmi les exosquelettes robotisés de la marche les plus utilisés pour la rééducation des enfants atteints de PC, on retrouve le Lokomat, le Gait Trainer GTI, le RT600 Locomoteur Training, le 3DCALT, le Honda Walking Assist, le Trainer W et l'Innowalk Pro.

Grâce à ces dispositifs, la rééducation robotisée de la marche permet d'optimiser les capacités fonctionnelles des patients et d'améliorer leur autonomie en complément des thérapies conventionnelles.

De tous les exosquelettes cités ci-dessus, le Lokomat est le plus utilisé dans la rééducation robotisée dans le domaine de la neurologie et plus particulièrement dans la prise en charge de la PC (*Aurich-Schuler et al., 2017*)[31]. Il peut être utilisé à la fois chez les adultes mais également chez les enfants grâce à l'ajout d'une orthèse pédiatrique. Le Lokomat peut être proposé à partir de 4-5 ans, néanmoins les patients doivent être capables de s'exprimer correctement que ce soit verbalement ou gestuellement afin de prévenir le rééducateur en cas de douleur (*Wallard, 2014*)[5]. Il faut également pouvoir tenir au minimum 20 minutes la position verticalisée pour pouvoir l'utiliser.

L'entraînement avec le Lokomat est indiqué pour les patients présentant des déficiences sévères à modérées de la marche. A l'inverse, dû à une contrainte mécanique de l'exosquelette, il est contre-indiqué chez les patients dont la longueur de la cuisse est inférieure à 21 cm ou supérieure à 35 cm (*Hocoma, 2024*)[32]. Toutefois, cette restriction ne représente que 5% de la population. Le Lokomat étant adapté à la grande majorité des patients. De plus, une fracture non consolidée, des lésions cutanées ou toute condition médicale compromettant la réadaptation active constituent des contre-indications majeures à son utilisation (*Hocoma, 2024*)[32]. Le Lokomat permet une installation rapide des patients, avec un temps de mise en place d'environ 4 minutes, optimisant ainsi l'efficacité des séances de rééducation.

1. Description du Lokomat

Le Lokomat se compose d'un tapis de marche motorisé pouvant atteindre une vitesse de 5 km/h, d'un harnais de suspension et d'un exosquelette motorisé équipé de deux articulations fixées aux membres inférieurs du patient. Il intègre également un écran de contrôle permettant au thérapeute d'ajuster divers paramètres d'entraînement. Un enregistrement des informations sur les performances y est possible durant les séances. Le Lokomat inclut aussi un écran interactif proposant des jeux adaptés aux mouvements de l'exosquelette. Grâce aux capteurs mesurant l'activité du patient, un biofeedback en temps réel est

généralisé sur l'ensemble des articulations, représenté sur l'écran interactif par un avatar reflétant les mouvements du patient durant les exercices.

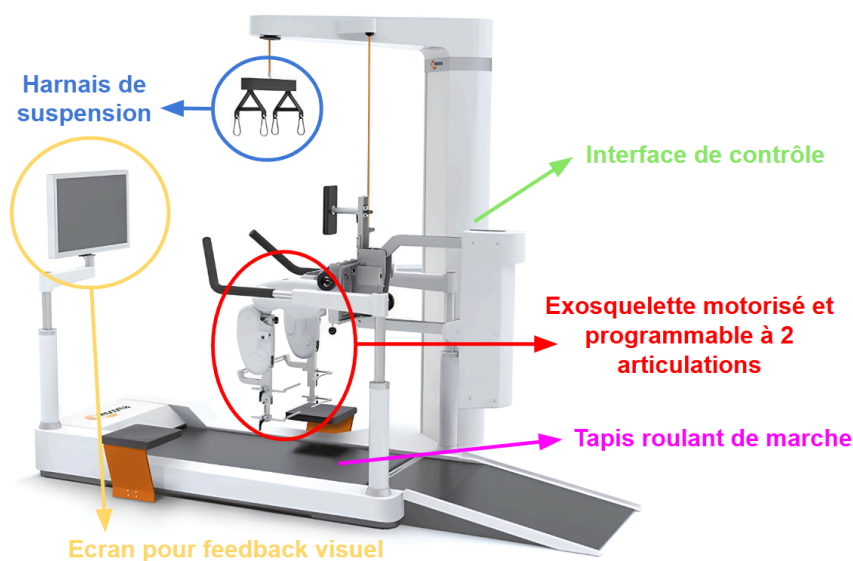


Fig. 10: Vue d'ensemble du Lokomat (Adapté d'après Wallard 2014)

2. Modèle théorique :

La RAGT, et plus spécifiquement le Lokomat, est conçue pour assister les membres inférieurs selon un schéma de marche physiologique. Il est possible de s'entraîner intensivement en effectuant un grand nombre de répétitions du cycle de marche, dans le but que la locomotion devienne quasi automatique et similaire à celle observée chez un enfant au développement « normal », après un processus de réorganisation et d'apprentissage (Wallard et al., 2017)[33]. La RAGT applique ce principe d'automatisation des mouvements cycliques de la marche à travers une stimulation motrice répétitive et physiologique, favorisant la plasticité cérébrale et le réapprentissage moteur de la locomotion.

La locomotion est une succession de cycles de flexions-extensions des membres. (Perry & Burnfield, 2024)[34]. C'est un processus complexe sur le plan neurologique, elle est à la fois programmée et automatique (Takakusaki, 2017)[35]. Elle résulte de l'interaction entre les systèmes sensoriels et les structures corticales et sous corticales. Les aires impliquées dans la motricité telles que le cortex moteur primaire, le cortex pré-moteur, l'aire motrice supplémentaire interagissent avec le cervelet et les ganglions de la base pour permettre d'élaborer commandes de planification, de programmation, d'organisation et de paramétrisation du mouvement. Le cervelet joue un rôle clé dans la coordination

sensori-motrice et la régulation de la fonction motrice. Les commandes sont ensuite envoyées au tronc cérébral et à la moelle épinière qui interviennent dans l'exécution de la fonction motrice et la régulation du tonus musculaire afin de maintenir l'équilibre (Wallard, 2014) [5]. La commande finale est transmise au système musculo-squelettique via les motoneurones spinaux qui vont exciter les fibres musculaires permettant la mise en place des synergies motrices.

On comprend alors, que les lésions cérébrales présentes dans la pathologie de la PC peuvent, en plus d'avoir un impact sur le tonus musculaire, avoir un impact sur l'élaboration de la commande motrice provoquant des difficultés à la marche. C'est sur le principe de la théorie des circuits spinaux que se fonde la *RAGT*. Un réseau de neurones dans la moelle épinière produit une sortie motrice rythmique similaire à la locomotion après suppression de tout flux afférent.

La validité de ce modèle a été démontrée chez l'animal, notamment dans l'expérience de Philippon [36], qui met en évidence le rôle autonome de la moelle épinière dans la production de la marche.

Un chat adulte présentant une altération spinale était placé sur un tapis roulant avec un système de sustentation partiel aux niveau de la partie caudale de l'animal. Grâce au fonctionnement de générateurs de schémas centraux spinaux (McCrea, 2001) [37], malgré la section des connexions avec les centres supérieurs, le chat était capable avec le système sustentatif et l'actionnement du tapis roulant de produire des synergies de flexion extension des membres inférieurs. Avec un entraînement d'une durée variant de 3 semaines à un an, les chats entraînés étaient capables de marcher sur la surface plantaire des pattes et de supporter le poids des membres inférieurs (Rossignol et Barbeau, 1987) [38]. Dans d'autres études, les chats, après entraînements, montraient des motifs EMG et cinématiques similaires à ceux des chats normaux (Barbeau et al; 1999) [39].

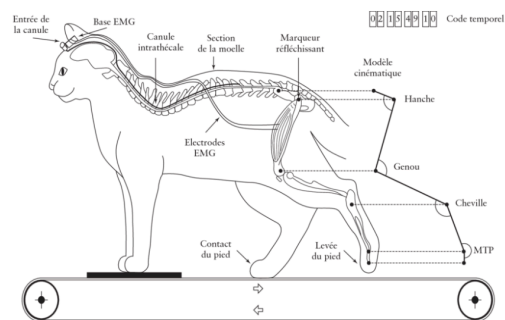


Fig. 11: Illustration d'un chat spinal sur tapis roulant avec suspension du train arrière (d'après Barbeau et Rossignol, 1987).

Il est donc possible par apprentissage moteur de retrouver une locomotion. Un entraînement locomoteur intensif est cependant nécessaire pour une récupération locomotrice optimale (*Barbeau et al; 1999*)[\[39\]](#).

Les exosquelettes de la marche permettent des entraînements intensifs avec mouvements cycliques de la marche dans le but d'activer le générateur spinal de marche et récupérer une locomotion.

Le Lokomat permet d'ajuster plusieurs paramètres de marche pour un entraînement progressif et adapté à chaque patient. L'ajustement de chacun de ces paramètres modifie les schémas de marche.

3. Les paramètres modifiables sur le Lokomat. (*Hocoma, 2018*)[\[40\]](#)

Des actionneurs situés au niveau des articulations de la hanche et du genou génèrent des mouvements de flexion et d'extension. Le modèle de marche peut être modifié via le logiciel.

L'amplitude du mouvement des articulations de la hanche et du genou est modulable. La piste définie (angle en degrés) peut être décalée vers la flexion ou l'extension. Ces deux paramètres (amplitude et décalage) peuvent être réglés indépendamment pour le membre inférieur droit et gauche.

a) Modification de l'amplitude de la hanche et son influence sur la marche

Une modification de l'amplitude de la hanche affecte principalement la longueur de la foulée.

Dans la marche physiologique, l'augmentation de la vitesse s'accompagne d'un allongement du pas et d'une plus grande amplitude de mouvement de la hanche.

Sur le Lokomat, ce paramètre est ajusté manuellement par le thérapeute afin d'adapter l'entraînement.

b) Décalage de la hanche et son influence sur la marche

En maintenant l'amplitude du mouvement, le décalage de la hanche peut orienter le membre inférieur davantage vers la flexion ou l'extension. Lors du déplacement du mouvement vers la flexion, les jambes du patient se projettent vers l'avant par rapport au tronc, augmentant ainsi la flexion de la hanche. À l'inverse, un décalage vers l'extension entraîne le phénomène opposé. Ce réglage influence

principalement le moment où le pied entre en contact avec le sol (premier contact).

En cas de décalage vers la flexion, l'amplitude articulaire de la hanche reste identique, mais avec une flexion plus marquée et une extension réduite. Dans cette configuration, la hanche restant davantage fléchie, le pied ne touche pas immédiatement le sol, retardant ainsi le contact initial.

Lors du déplacement du mouvement vers l'extension, c'est le phénomène inverse qui se produit. Ce déplacement du mouvement vers la flexion ou vers l'extension influence principalement quand le pied touche le sol (premier contact). Quand le mouvement est décalé vers la flexion, le patient a la même amplitude de hanche qu'avant, mais avec plus de flexion et moins d'extension. Lorsque la hanche est en flexion, le pied ne touche pas le sol. Le contact initial est donc plus tardif.

c) Amplitude articulaire du genou

L'augmentation de l'amplitude articulaire du genou (en particulier de la flexion), permet d'amplifier la distance entre le pied et le sol durant la phase d'oscillation. Cela peut réduire les contacts involontaires du pied avec le sol en cas de steppage. Une plus grande flexion implique que le patient effectue un mouvement plus ample dans un même laps de temps, ce qui entraîne une accélération du mouvement et un décollement du pied plus rapide.

d) Décalage de l'amplitude du genou

Le décalage du genou permet de modifier la répartition de l'amplitude du mouvement entre la flexion et l'extension, sans en changer la valeur totale. Un décalage vers la flexion entraîne une diminution de l'extension complète du genou, tandis qu'un décalage vers l'extension limite la flexion. Cette fonction peut être utile pour corriger une hyperextension ou un flexum de genou.

e) La vitesse

Le paramètre vitesse correspond à la vitesse de déplacement du tapis roulant. Lors des premières séances, une vitesse réduite est généralement privilégiée afin de faciliter l'adaptation du patient à la marche assistée par le Lokomat. Une vitesse lente peut également être utilisée pour travailler sur un trouble spécifique de la marche, maximiser l'apprentissage d'un schéma moteur particulier ou optimiser le

recrutement des fibres musculaires. De plus, la spasticité pouvant apparaître lors de mouvements rapides, il peut être pertinent de commencer la séance avec une vitesse basse pour les patients spastiques.

Lorsque la vitesse de déplacement du tapis roulant est modifiée, cela implique une modification manuels d'autres paramètres pour garder une marche physiologique. Avec une augmentation de la vitesse du tapis, la longueur de pas sera plus longue donc la longueur de pas de l'orthèse doit être ajustée ainsi que le décalage de hanche vers l'extension.

L'augmentation de la vitesse permet d'augmenter la répétition et l'intensité des mouvements. Elle peut être augmentée pour favoriser une marche plus fluide et fonctionnelle proche de la vitesse de marche correspondant à celle de la vie quotidienne .

f) La force de guidage

La force de guidage détermine dans quelle mesure les mouvements du patient sont guidés par l'orthèse en marchant. La trajectoire est définie une fois que l'amplitude et le décalage de la hanche et du genou sont déterminés. La force de guidage aidera le patient à suivre la trajectoire définie avec plus ou moins d'assistance.

g) Soutien du poids corporel

Ce paramètre permet de réduire la charge supportée de 40% au maximum par les membres inférieurs tout en maintenant un appui suffisant pour assurer une stimulation sensitive optimale (Wallard, 2014)[\[5\]](#).

G) Avantages et inconvénients de la rééducation avec les exosquelettes robotisés de la marche

Il a été montré que l'utilisation d'un dispositif robotisé diminuait la dépense énergétique lors de la marche, pouvant permettre un entraînement intensif (Hyun Lim et al., 2024 ; Jarrassée, 2019)[\[41\]](#) [\[42\]](#) axé sur des tâches. La rééducation robotisée préserve aussi le clinicien des contraintes physiques liées aux manipulations répétées. Combiné avec la réalité virtuelle, la RAGT pourrait permettre, en plus d'améliorer le temps d'engagement moteur, la marche et le contrôle postural, d'améliorer l'adhésion au traitement en motivant le patient à

participer à la thérapie (*Hyun Lim et al., 2024 ; Jarrassée, 2019*)[38] [39]. Cette thérapie offre la possibilité de s'entraîner à des vitesses plus rapides ainsi qu'à des durées d'entraînement plus élevées par rapport à la rééducation conventionnelle, ce qui peut particulièrement améliorer les fonctions cardiovasculaires (*Tedla et al., 2019*)[43]. De plus, réaliser régulièrement une séance de RAGT dans la position verticale permet de diminuer les risques liés à l'immobilisation tels que les rétractions musculaires ou les escarres. Par ailleurs, la RAGT favorise une cinématique articulaire optimale pendant la marche (*Candogan, 2021*)[44].

La rééducation robotisée présente néanmoins un investissement financier non négligeable pour le clinicien. Par ailleurs, certaines études randomisées contrôlées ont montré des résultats peu différents entre les RAGT et la rééducation conventionnelle (*Martino Cinnera et al., 2025; Jarrassée, 2019*)[45] [42]. Par ailleurs, certains inconvénients techniques ont été relevés, notamment des lésions cutanées sur la face interne des cuisses causées par le frottement des sangles (*Wang et al., 2023*)[46], ce qui peut compromettre l'efficacité des séances. L'adaptabilité aux patients reste inconnue dans l'état actuel des connaissances. Il a cependant été décrit dans la littérature que combiner plusieurs thérapies (traitement conventionnel et RAGT) pouvait pour les patients présentant un handicap sévère causer une fatigue musculaire rendant difficile la réalisation de la thérapie intensive. (*Cortés-Pérez, 2022*)[23]. De plus, il a été rapporté que la RAGT entraînait des restrictions du mouvement du bassin dans le plan sagittal, ce qui pourrait limiter sa mobilité et expliquer l'absence d'amélioration observée. (*Hidler et al., 2009*)[47].

H) Problématique, hypothèses et objectifs

Il peut être à juste titre pertinent de se poser la question "En quoi la rééducation robotisée est-elle bénéfique pour les enfants atteints de paralysie cérébrale ?" C'est sur cette question que se concentre notre étude. La première partie vise à mettre en évidence les apports et limites de la rééducation robotisée chez les enfants atteints de PC. Nous faisons l'hypothèse que la rééducation robotisée améliore les paramètres posturo-locomoteurs des enfants atteints de PC sur une durée allant jusqu'à trois mois. Dans la seconde partie de ce travail, nous formulons l'hypothèse que les modalités d'entraînement influencent les bénéfices de la RAGT. L'objectif est donc d'identifier, pour chaque paramètre d'intervention

(durée de séance, fréquence et durée totale d'intervention), les valeurs les plus couramment utilisées dans la littérature actuelle. Pour répondre à cette question, nous réaliserons une synthèse des protocoles décrits dans les études.

III] Méthodologie

Afin de pouvoir répondre à l'ensemble des objectifs, nous avons mené une *umbrella review*. Cette revue systématique de revues systématiques et de revues systématiques méta-analyses vise à fournir une vue d'ensemble de la littérature existante sur un sujet donné, en rassemblant les résultats des études publiées [\[48\]](#) [\[49\]](#).

A) Conception de l'étude

Cette *umbrella review* a été réalisée conformément aux recommandations des lignes directrices PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (Page et al. 2021) [\[50\]](#).

B) Mots clés

Nous avons défini notre chaîne de mots-clés en utilisant la stratégie PICOS (Kitchenham, 2004) [\[51\]](#) :

Population (P) : Enfants atteints de paralysie cérébrale

Intervention (I) : Thérapie de la marche assistée par robot

Comparaison (C) : Groupe témoin ne recevant pas de thérapie de marche assistée par robot

Résultats (O) : Analyse des paramètres posturo-locomoteurs, de la marche, des paramètres spatio-temporels ainsi que de la fonction motrice globale

Type d'étude (S) : Revues systématiques et méta-analyses

C) Sources d'informations

Des recherches bibliographiques ont été menées dans les bases de données PubMed, Scopus, ScienceDirect, Web of Science et IEEE de novembre 2024 à février 2025.

D) Stratégie de recherche

Les cinq base de données ont été consultées avec la combinaison des mots-clés suivants : "Cerebral palsy", "Child", "Pediatric", "Gait Rehabilitation Robotic", "Robotic Assisted Therapy", "Robotic Assisted Gait Training", "Systematic

review”, “Meta Analysis”, “Gait Analysis”, “Gait Parameters”, “Functional Improvement”. Tous ces termes ont été combinés avec les opérateurs booléens AND et OR.

Tableau 1: récapitulatif des équations de recherches utilisées dans les différentes bases de données.

Base de données	Equation de recherche
PubMed / Scopus / IEEE / Web of Science	(Cerebral palsy) AND (Child* OR Pediatric*) AND (Gait Rehabilitation Robotic OR Robotic Assisted Therapy OR Robotic Assisted Gait Training) AND (Systematic review OR Meta Analysis) AND (Gait Analysis OR Gait Parameters OR Functional Improvement)
ScienceDirect	("Cerebral palsy") AND ("Child" OR "Pediatric") AND ("Gait Rehabilitation Robotic" OR "Robotic Assisted Therapy" OR "Robotic Assisted Gait Training") AND ("Systematic review" OR "Meta Analysis") AND ("Gait Analysis") (“Cerebral palsy”) AND (“Child” OR “Pediatric”) AND (“Gait Rehabilitation Robotic” OR “Robotic Assisted Therapy” OR “Robotic Assisted Gait Training”) AND (“Systematic review” OR “Meta Analysis”) AND (“Gait Parameters”) (“Cerebral palsy”) AND (“Child” OR “Pediatric”) AND (“Gait Rehabilitation Robotic” OR “Robotic Assisted Therapy” OR “Robotic Assisted Gait Training”) AND (“Systematic review” OR “Meta Analysis”) AND (“Functional Improvement”)

E) Critères de sélection

Pour être incluses dans notre *umbrella Review*, les études devaient répondre aux critères d'inclusion définis selon la méthode PICOS (Schardt et al., 2007)[\[52\]](#) : Les participants devaient être des enfants ou adolescents atteints de PC âgés de 5 ans minimum à 18 ans maximum (cf Lokomat® pédiatrique). Les études devaient inclure des séances de RAGT avec des protocoles détaillés. Elles devaient présenter des comparaisons entre groupes et/ou pré/post et présenter des résultats correspondant à la fonction du membre inférieur tels que les paramètres posturo-locomoteurs, la fonction motrice globale, l'indépendance fonctionnelle ainsi que les questionnaires subjectifs. Enfin, seules les revues systématiques et méta-analyses étaient retenues.

Tableau 2: Tableau PICOS des critères d'éligibilité des études.

Sujets	Critère d'inclusion	Critère de non inclusion	Critères d'exclusion
P-population	Enfants ou adolescents atteints de PC âgés de 5 ans minimum à 18 ans maximum	Articles n'incluant pas la pathologie de la paralysie cérébrale	Articles incluant des sujets ayant une pathologie autre qu'une paralysie cérébrale
I-intervention	Articles incluant une RAGT et décrivant les protocoles utilisés	Articles traitant la rééducation des membres supérieurs Articles ne traitant pas de la rééducation robotisée	N/A
C-comparaison	Comparaison entre groupes et/ou comparaison intra-groupe et/ou comparaison pré/post	N/A	N/A
O-outcoms	Mesure des résultats liés à la fonction du membre inférieur : paramètres posturo-locomoteurs,	N/A	N/A

	fonction motrice globale, indépendance fonctionnelle, questionnaires subjectifs.		
S-study-type	SR / SR méta-analyses	N/A	Articles rédigés dans une langue différente de l'anglais Articles incomplets

F) Sélection des études et extraction des données

Une sélection des études extraites des différentes bases de données a été réalisée en coopération avec un deuxième examinateur. Pour cela, la totalité des études trouvées à l'aide des équations de recherche dans les différentes bases de données mentionnées ci-dessus ont été répertoriées dans le logiciel Zotero. Les doublons ainsi que les articles ne répondant pas aux critères de sélection (cf tableau 2) basés sur le titre et le résumé ont été éliminés. Les articles en texte intégral des études restantes ont ensuite été examinés pour inclusion. En cas de doute concernant l'inclusion, une discussion était engagée avec le deuxième examinateur afin de parvenir à un accord mutuel.

Les variables modératrices ont été définies selon la stratégie PICOS. L'extraction des données a été réalisée indépendamment par deux évaluateurs. En cas de discordance, une discussion était engagée avec un troisième évaluateur pour parvenir à un consensus.

Les données extraites comprenaient : (1) les caractéristiques générales de chaque étude (nom de l'étude, année de publication, type d'étude, pays, date de publication, base de données utilisées, date de recherche, mots-clés employés, nombre d'études incluses, origine des articles) ; (2) les caractéristiques des sujets (nombre de participants, âge, sexe, type et sévérité de l'atteinte) ; (3) les informations relatives à l'intervention (type d'intervention et dispositif de RAGT utilisé, caractéristiques techniques, nombre de séances, durée de l'intervention, fréquence et durée des séances) ; (4) les informations sur les comparaisons effectuées (traitement, paramètres, échelles) ; (5) les résultats obtenus ; (6) les

effets indésirables rapportés ainsi que les suggestions concernant les séances de RAGT ; (7) la qualité des études et les limites identifiées par les auteurs.

IV) Résultats

Les résultats obtenus en réponse aux questions de recherche sont exposés dans cette section. La première partie se concentre sur les résultats concernant les différents protocoles appliqués pour les séances de thérapie de marche assistée par robot. La seconde partie traite des résultats pour les variables concernant la marche et la fonction motrice globale.

A) Résultats de la recherche bibliographique

La recherche dans les cinq bases de données a identifié 103 articles (PubMed n=20, IEEE n=26, ScienceDirect n=34, Scopus n=5, Web of Science n=18). Vingt-cinq doublons ont été supprimés. Les titres et résumés des 78 articles restants ont été examinés et finalement, 57 études ont été exclues. Vingt-deux études n'étaient pas des revues systématiques ou des revues systématiques avec méta-analyse. Vingt-et-une études n'ont pas inclus de rééducation robotisée, quatre études étaient incomplètes, neuf études concernaient des pathologies autres que la PC. Une étude était écrite dans une autre langue que l'anglais. Finalement, après lecture complète des articles, parmi les 21 articles restants, 14 études ne répondaient pas aux critères d'inclusion de PICOS ; 7 articles incluaient des sujets d'un âge supérieur à 18 ans et 7 autres articles traitaient de la rééducation du membre supérieur. Les sept dernières études ont été sélectionnées. ([Cortés-Pérez et al., 2022](#); [Martino Cinnera et al., 2025](#) ; [Lim et al., 2024](#) ; [Llamas-Ramos et al., 2022](#) ; [Wang et al., 2023](#) ; [Olmos-Gómez et al., 2021](#) ; [Vezér et al., 2024](#)) [23] [45] [41] [53] [46] [54] [6]Fig. 12.

Identification of studies via databases and registers

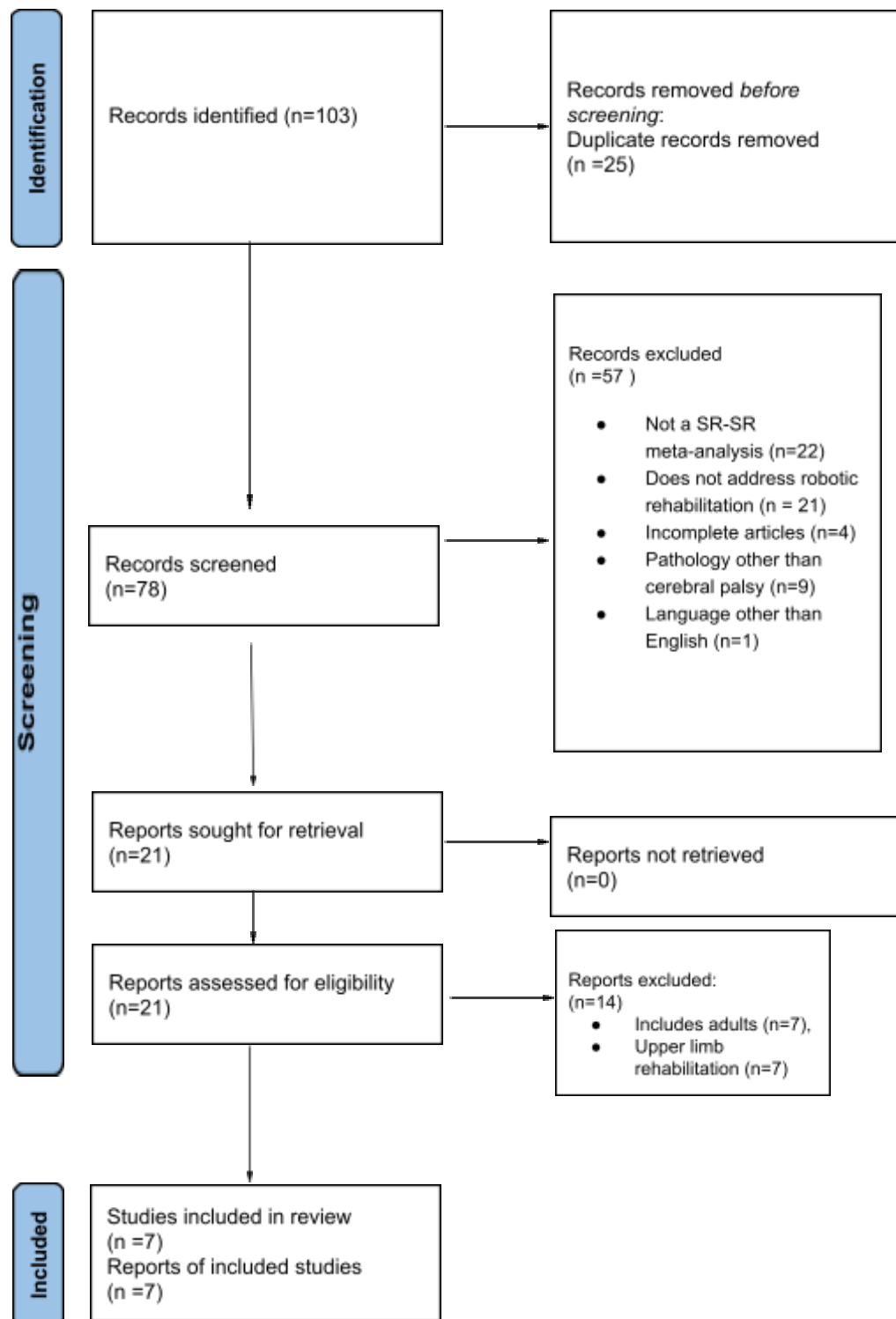


Fig. 12: Organigramme PRISMA

B) Caractéristique des études incluses

Titre	Lien	Année de publication	Type de revue	Base de données utilisées	date de la recherche dans les bases de données	Mots clés	Nombre d'études inclus	Origine des articles
Efficacité de la thérapie de marche assistée par robot comparée à la thérapie conventionnelle ou à l'entraînement sur tapis roulant chez les enfants atteints de paralysie cérébrale : une revue systématique avec méta-analyse	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36560281/	2022	SR Méta-Analyse	PubMed Medline, Web of Science, Scopus, CINAHL, PEDro et Scielo	Articles publiés jusqu'à Octobre 2022	"robotic", "exoskeleton", "robotic gait assisted training" "cerebral palsy"	15	Italy (n=3), France (n=2), United States, Turkey (n=2), Australia, Korea, Switzerland, Poland (n=2), Slovakia, Saudi Arabia
Évaluation de l'efficacité du Lokomat®Entraînement à la marche assisté par robot chez les enfants atteints de paralysie cérébrale : Une revue systématique	https://www.researchgate.net/publication/388221638_Evaluation_of_the_Effectiveness_of_Lokomat_R_Robot-assisted_Gait_Training_in_Children_with_Cerebral_Palsy_A_Systematic_Review	2024	SR	PubMed, Scopus, Cochrane Library et PEDro	Articles publiés jusqu'au 1er décembre 2023	"cerebral palsy", "robotic exoskeleton", "gait training"	9	Kazakhstan (n=1), Pologne (n=2), Chine (n=1), Egypte (n=1), Italie (n=1), Arabie Saoudite (n=1), France/ Belgique (n=1), Suisse (n=1)
Effets de la rééducation robotique sur la fonction motrice et la marche chez les enfants atteints de paralysie cérébrale : revue systématique et méta-analyse	https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11222064/	2024	SR Méta-Analyse	PubMed, Embase, Cochrane Library, CINAHL et Web of Science	Articles publiés jusqu'au 1er novembre 2023	« paralysie cérébrale », « enfants », « robot »	7	NA
Systèmes robotisés pour le traitement physiothérapeutique des enfants atteints de paralysie cérébrale : une revue systématique	https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9100658/	2022	SR	Pubmed, Web of Science, MEDLINE, Cochrane, Dialnet, CINAHL, Scopus, Lilacs et PEDro	Articles publiés jusqu'en Février 2022	"robotic systems"; "children"; "cerebral palsy"; "physiotherapy treatments"	7	Anglais, Espagnol
Revue systématique et méta-analyse en réseau de l'entraînement à la marche assisté par robot sur la fonction des membres inférieurs chez les enfants atteints de paralysie cérébrale	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37495708/	2023	SR Méta-Analyse	PubMed, Web of Science, Cochrane Library, Embase, CNKI, VIP, CBM et Wanfang	Articles publiés jusqu'au 26 décembre 2022	"Robot-assisted walking training", "Cerebral palsy", "Lower limb function", "Systematic review", "Network meta-analysis"	14	chinois (n=8) et anglais (n=6)
Effets de l'entraînement à la marche assisté par robot chez les enfants et les adolescents atteints de paralysie cérébrale : une méta-analyse en réseau	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34768427/	2021	Méta-analyse	PubMed, ILACS et IBECS, PEDro, Academic Search Complete, CINAHL complete et Psycinfo, Web of Science et Scielo	Articles publiés jusqu'en mars 2020	"cerebral palsy"; "robotic assisted gait training"; "robotic-assisted locomotor training"; "robotic-assisted therapy"; "lokomat"; "walkbot"; "robotic assisted treadmill"	8	italie (n=2), turquie (n=2), mexique (n=1), pologne (n=1), etats unis (n=1), France (n=1)
Les preuves d'une amélioration de la marche grâce à l'entraînement à la marche assisté par robot chez les enfants atteints de paralysie cérébrale restent incertaines.	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37703782/	2024	SR Méta-Analyse	PubMed, Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL), Embase, Scopus et Web of Science	Articles publiés jusqu'à octobre 2021	"Cerebral palsy" AND "robot" * AND random*	13	Mexique (n=1), Chine (n=1), Cerf (n=1), France (n=2), Italie (n=1), Australie (n=1), Egypte (n=1), Japon (n=1), Corée du Sud (n=1), Pologne (n=1), Turquie (n=1), Suisse (n=1)

Nombre de sujets	Age des sujets (année)	Genre des sujets	Type et sévérité de la PC	Intervention et génération	Caractéristiques techniques (niveau d'assistance, Paramètres ajustables,	Nombre de séances	Durée de l'intervention	Durée de la séance (minute)
413 (203 groupe RAGT- 210 CT ou TT)	10,33 ± 4,1	185 filles 228 garçons	GMFCS I à V majorité de diplégie spastique	RAGT (Lokomat,Walkbot-K,EksoGT, RT600,Gait Trainer GTI,3DCaLT, Innowalk Pro)	N/A	18 à 54	4 à 10 semaines	30 à 45
403	3 à 17	200 garçons 173 filles	PC monoplégique ou diplégique GMFCS I à IV	RAGT (Lokomat) sur le groupe expérimental	Adapter les paramètres RAGT en fonction des changements de performances des sujets. GMFCS I: vitesse et durée de la thérapie plus importantes, support pondéral plus faible. Un feedback sous forme de jeu sérieux augmente la conformité et la motivation combiné avec la RAGT	10 à 48	4 à 12 semaines	20 à 45
228	3 à 18	N/A	GMFCS II à V PC spastique, diplégique, bilatérale, tétraparésie	RAGT (Lokomat,RT600,HAL) sur groupe expérimental	N/A	N/A	11 jours à 12 semaines	25 à 50
174	4 à 14	N/A	PC spastique diplégique, bilatérale, hémiparétique	RAGT (Lokomat,Innowalk Pro, Walkobot-K, Robogait) combiné au traitement de physiothérapie conventionnel	N/A	20 à 52	4 à 12 semaines	25 à 45
654	5 à 18	N/A	PC	RAGT + rééducation conventionnelle sur groupe expérimental	N/A	N/A	2 semaines à 3 mois	20 à 45
217	6,8 à 13,88	54,45 % de garçons 45,55% de filles	PC spastique bilatérale, unilatérale GMFCS I à IV. Niveau II le plus représenté	RAGT(lokomat,3DCaLT,Gait TrainerW,Innowalk-Pro) sur groupe expérimental 1 RAGT + physiothérapie sur groupe expérimental 2	N/A	10 à 40	N/A	30 à 45
318	3 à 18	N/A	PC spastique bilatérale, mixte, hémiparétique GMFCS I à V, II le plus représenté	RAGT (Lokomat,Walkbot K, Honda Walking Assist,LokoHelp System, Gait Trainer GTI,RT600 + Locomotor Training, 3DCaLT, Lokomotor Gait Trainer GTI) sur groupe témoin	NA	10 à 48	2 jours à 39 semaines	20 à 60

Tableau 3: Caractéristique des études incluses dans l’Umbrella Review

C) Variables

Les principales variables analysées dans cette étude étaient la marche et la motricité globale. Concernant la marche, la vitesse de marche et la longueur de pas ont été évaluées. Concernant la motricité globale, nous avons évalué les dimensions E et D de la mesure de la fonction motrice globale (GMFM), c'est-à-dire la marche, la course et le saut avec la dimension E, ainsi que l'équilibre et la stabilité en position debout avec la dimension D.

D) Analyse statistique

L'effet groupé a été calculé à partir de la différence moyenne standardisée (DMS) de Cohen (*Cohen, 2013*)[\[55\]](#) et l'intervalle de confiance à 95 % (IC à 95 %). L'effet de groupe peut être interprété comme suit : $DMS < 0,2$ (effet négligeable), $0,2 \leq DMS < 0,5$ (faible), $0,5 \leq DMS < 0,8$ (modéré), $DMS \geq 0,8$ (important) (*Cohen, 2013*)[\[55\]](#). L'IC à 95% indique que lorsque celui-ci englobe la valeur 0, cela signifie que l'effet observé n'est pas statistiquement significatif (*Clephas et Heesen, 2022*)[\[56\]](#) : il est donc possible que l'intervention n'ait aucun effet réel. En revanche, si l'IC exclut 0, on peut considérer l'effet comme statistiquement significatif. Cette approche repose sur les fondements de l'inférence statistique (*Zaugg et al., 2014*)[\[57\]](#). L'interprétation de nos résultats se base sur ces principes statistiques.

Pour chaque variable, un tableau a été créé afin d'extraire par étude les valeurs de la DMS ou de la différence moyenne (DM) ainsi que les valeurs de l'IC à 95%. Les résultats des études incluses ont été codés selon un système de couleurs décrit comme suit permettant de visualiser le degré de significativité statistique et l'amplitude de l'effet.

Vert : effet statistiquement significatif (IC à 95 % n'englobe pas 0) et taille d'effet considérée comme au moins faible ($DMS > 0,2$ ou $MD > 0$).

Orange : tendance à l'amélioration, sans significativité statistique (IC englobe 0 mais $DMS > 0,2$ ou $MD > 0$).

Rouge : effet négligeable, nul ou défavorable sans significativité statistique avec $DMS \leq 0,2$, MD proche de 0 ou négatif, ou IC très large ou englobant 0.

E) Caractéristiques relatives aux sujets

Au total, ces études ont fourni des données pour 2407 sujets d'un âge inférieur à 18 ans atteints de PC. Le genre n'a pas été précisé dans quatre études. Pour les 3 études restantes, portant sur 1033 enfants, 546 étaient des garçons et 457 des filles. Les âges variaient entre 3 et 18 ans. Concernant la présentation clinique, de nombreuses formes étaient représentées dans les 7 études. On y retrouve les formes spastiques bilatérales et unilatérales, ainsi que des formes mixtes. Pour les régions corporelles atteintes, on retrouve des formes diplégiques, hémiploégiques, hémiparétiques et tétraparétiques. Concernant la sévérité, les niveaux I à V du GMFCS étaient représentés dans 5 études avec une présence marquée des niveaux modérés (notamment le niveau II). Deux études n'indiquaient pas le GMFCS (Llamas-Ramos *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023)[53] [46] .

La figure 13 illustre la variabilité des tranches d'âge et des niveaux de sévérité (GMFCS) des enfants pour chaque étude. Les âges variaient entre 3 et 18 ans, soit une étendue de 15 ans. Cette large étendue couvre les périodes du développement moteur et cognitif. La tranche d'âge minimale variait de 3 à 6 ans tandis que la tranche d'âge maximale s'étendait de 14 à 18 ans.

Une hétérogénéité marquée est constatée, aussi bien dans les tranches d'âge des enfants inclus que dans les niveaux de sévérité fonctionnelle rapportés. Cette diversité au sein des échantillons reflète la variabilité clinique réelle de la PC dans la population.

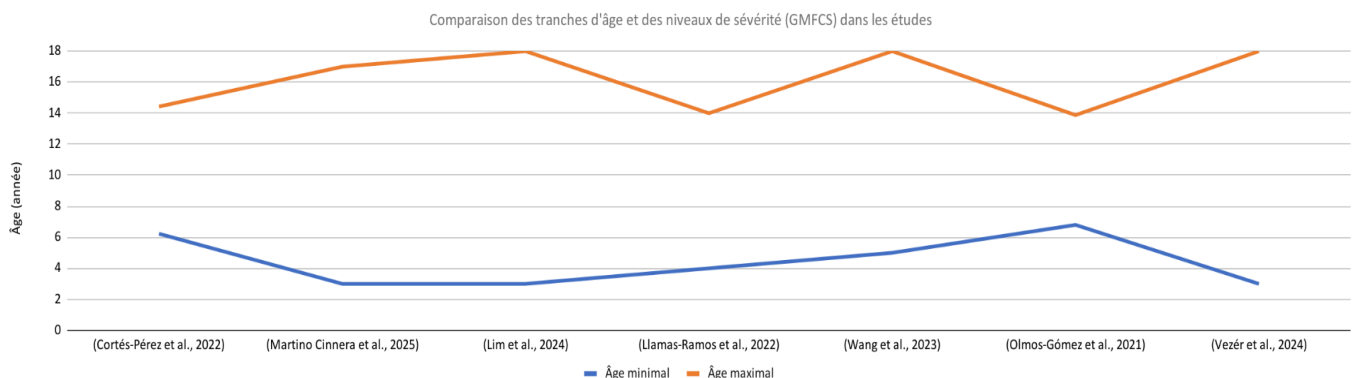


Fig. 13: Comparaison des tranches d'âge et des niveaux de sévérités (GMFCS) dans les études.

F) Protocoles

Les protocoles de rééducation avec la RAGT varient considérablement d'une étude à l'autre en termes de nombre de séances, de durée, de fréquence hebdomadaire. Une synthèse des données issues des études incluses permettrait d'identifier les tendances actuelles.

1. Temps de séance

Tableau 4: Synthèse des durées de séance (en minutes) de RAGT dans les études analysées.

	Temps minimal (min)	Temps maximal (min)	Temps moyen (min)
Cortés-Pérez et al [23]	30	60	40
Martino Cinnera et al [45]	30	60	40
Lim et al [41]	25	70	45,71
Llamas-Ramos et al [53]	25	45	35
Wang et al [46]	20	45	30
Olmos-Gómez et al [54]	30	45	36,88
Veréz et al [6]	20	60	40

Comparaison des durées des séances d'entraînement

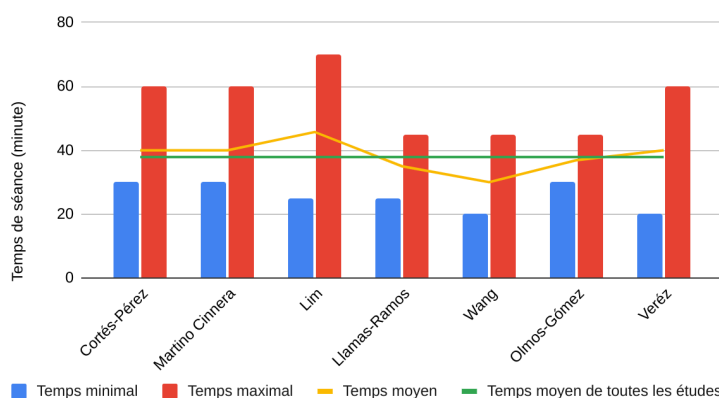


Fig. 14: Comparaison de la durée de séance hebdomadaire entre les études utilisant la RAGT.

Toutes les études fournissent des données concernant la durée de séance.

Le temps moyen de toutes les études est de 37,9 minutes, avec comme écart type 9,9 minutes et une médiane de 40 minutes. Ce qui indique que la plupart des protocoles proposent des séances se situant dans ce laps de temps. La plage de variation du temps moyen d'entraînement des études est étroite (de 30 à 45,71 minutes). L'étude de *Lim et al.*, présente un temps moyen plus élevé que les autres études. C'est également la seule étude à présenter des temps maximaux d'entraînement supérieurs à 60 minutes. La plupart des temps maximaux tournent autour de 45 à 50 minutes.

Les durées de séance varient de 20 à 70 minutes, mais les 1er et 3ème quartiles sont à 30 et 45 minutes, ce qui signifie que 50 % des valeurs se trouvent dans cette fourchette de temps. Malgré les présentations cliniques différentes (fig. 13), les chercheurs et cliniciens ont tendance à proposer des séances de durées relativement similaires. Le mode dans le temps moyen de chaque étude est de 40 minutes et est retrouvé 3 fois. Cela renforce l'idée qu'un format de séance d'environ 40 ± 5 minutes est actuellement privilégié dans la littérature.

2. Fréquence hebdomadaire des séances

Tableau 5: Synthèse du nombre de séances RAGT par semaine dans les études analysées.

	Fréquence minimale	Fréquence maximale	Fréquence moyenne
Cortés-Pérez et al [23]	3	5	4,08
Martino Cinnera et al [45]	3	5	4
Lim et al [41]	2	6	3,83
Llamas-Ramos et al [53]	2	5	3,83
Wang et al [46]	2	6	4,58

Comparaison des fréquences de séances hebdomadaires entre les études

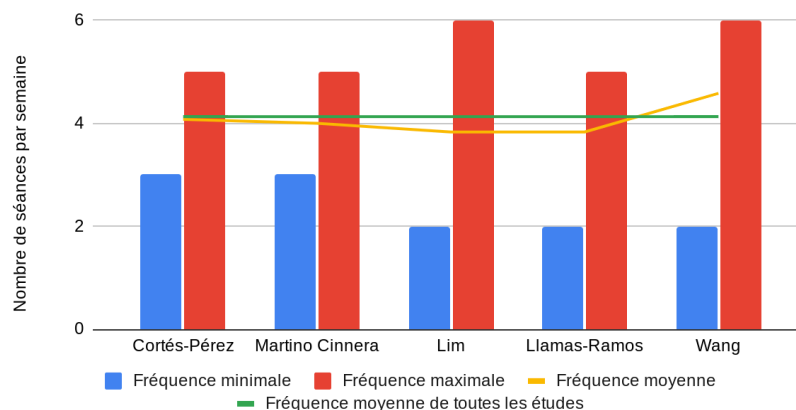


Fig. 15: Comparaison de la fréquence de séance hebdomadaire entre les études utilisant la RAGT.

Cinq des sept études fournissent des données sur le nombre de séances de RAGT par semaine. Les études qui ne sont pas représentées dans le graphique n'ont pas présenté de données. La moyenne de toutes les études est de 4,13 séances par semaine. La médiane étant de 4,5, la moitié des valeurs sont $\geq 4,5$ séances/semaine. Cela reflète une volonté générale de maintenir un rythme soutenu. C'est-à-dire autour des 4 à 5 séances par semaine. L'écart-type de 1,13 jour confirme que les valeurs sont regroupées autour de la moyenne et que les fréquences sont homogènes dans les études. L'étendue est de 4 mais les valeurs du premier et du troisième quartile sont proches ($Q1=3$, $Q3=5$). Cela montre que seulement peu d'études présentent des moyennes extrêmes et que la tendance se situe globalement autour de la moyenne. Quatre à cinq séances par semaine semble être la fréquence de séance par semaine la plus souvent choisie dans les protocoles actuels de la littérature.

3. Durée d'intervention (semaine)

Tableau 6: Synthèse de la durée d'intervention (semaine) dans les études analysées.

	Durée minimale	Durée maximale	Moyenne
Cortés-Pérez et al [23]	2	12	7,1
Martino-Cinnera et al [45]	4	12	8,0
Lim et al [41]	2	12	7,1
Llamas-Ramos et al [53]	4	12	12,0
Wang et al [46]	4	15	8,6
Verez et al [6]	5	169	75,3

La durée minimale d'intervention est de 2 semaines et la durée maximale de 169 semaines. L'écart-type (34,89) et l'étendue élevée (167 semaines) montrent une forte dispersion des durées entre les différentes études. La moyenne élevée (18,77 semaines) et la médiane beaucoup plus basse (8 semaines), indique que quelques durées d'intervention tirent la moyenne vers le haut. Malgré cette moyenne assez haute, 50 % des études ont des durées comprises entre 4,3 et 12 semaines (entre Q1 et Q3). Dans la littérature, la durée d'intervention la plus fréquemment rapportée dans les protocoles se situe entre 1 et 3 mois.

G) Paramètres posturo-locomoteurs

1. Longueur de pas

Tableau 7: Effets de la RAGT sur la longueur de pas.

Etude	Type de comparaison	Longueur de pas		
		SMD	/ MD	IC
Cortés-Pérez et al [23]	RAGT vs. TT	0,1		-0,41 à 0,6
		Au suivi à 2 mois 0,88		Au suivi à 2 mois 0,32 à 1,43
	RAGT plus CT vs. CT	0,2		-0,28 à 0,67
		Au suivi à 4-6 semaines 0,34		Au suivi à 4-6 semaines -0,27 à 0,95
Martino Cinnera et al [45]	N/A	N/A		N/A
Lim et al [41]	N/A	N/A		N/A
Llamas-Ramos et al [53]	N/A	N/A		N/A
Wang et al [46]	N/A	N/A		N/A
Olmos-Gómez et al [54]	RAGT avec la physiothérapie vs. physiothérapie	0,34		-0,41 à 1,09
	RAGT vs. physiothérapie	0,16		-0,43 à 0,75
Vezér et al [6]	RAGT vs. physiothérapie RAGT vs. TT		0,04	-0,03 à 0,10

Peu d'études rapportent des données quantitatives sur la longueur du pas. Sur les sept études incluses, seules quatre fournissent une SMD ou une MD concernant ce paramètre. Toutefois, certaines d'entre elles incluent plusieurs comparaisons entre groupes, ce qui porte à sept le nombre total de comparaisons intergroupes analysées. Ces comparaisons incluent: RAGT et TT, RAGT associée à la physiothérapie contre physiothérapie seule, ou encore RAGT combinée à une prise en charge conventionnelle CT contre une CT.

L'étude de Cortés-Pérez et al., [23] est la seule étude à distinguer les effets immédiats et différés de la RAGT. La comparaison présentant le plus d'effet sur la longueur de pas est celle entre la RAGT et la TT à deux mois de suivi, avec un effet important et statistiquement significatif (SMD > 0,8 ; IC à 95 % n'englobant pas 0). Alors que juste après l'intervention, l'effet immédiat de la RAGT comparé

à la TT était négligeable (SMD=0,1). Les autres comparaisons rapportent des effets orientés vers l'amélioration mais non significatifs. Ces résultats concernent principalement les comparaisons où la RAGT est associée à un autre traitement (physiothérapie ou CT) comparée à un traitement seul (physiothérapie ou CT). À l'inverse, les comparaisons entre RAGT et TT, RAGT et physiothérapie ou RAGT et CT ne montrent aucun effet notable.

2. Vitesse de marche

Tableau 8: Effets de la RAGT sur la vitesse de marche.

Etude	Vitesse de marche		
	Type de comparaison	SMD / MD	IC
Cortés-Pérez et al [23]	RAGT vs TT	0,25	-0,15 à 0,64
		Au suivi à 2 mois	Au suivi à 2 mois
		0,26	-0,25 à 0,77
	RAGT vs. CT	0,56	0,03 à 1,1
	RAGT plus CT vs. CT	-0,1	-0,47 à 0,29
		Au suivi à 4-6 semaines	Au suivi à 4-6 semaines
		-0,77	-0,19 à 1,55
Martino Cinnera et al [45]	N/A	N/A	N/A
Lim et al [41]	N/A	N/A	N/A
Llamas-Ramos et al [53]	N/A	N/A	N/A
Wang et al [46]	RAGT avec TC vs. TC	0,31	-0,08 à 0,71
Olmos-Gómez et al [54]	RAGT avec la physiothérapie vs. physiothérapie	-0,09	-0,68 à 0,50
	RAGT vs. physiothérapie	0,28	-0,24 à 0,79
Vezér et al [6]	RAGT vs. physiothérapie	0,11 m/s	-0,02 à 0,24
	RAGT vs. TT	0,04 m/s	-0,33 à 0,11

La vitesse de marche est un paramètre spatio-temporel important pour évaluer la capacité locomotrice des enfants atteints de paralysie cérébrale. Elle est incluse dans les tests cliniques tels que le test de marche de six minutes (6MWT) et le test de marche de 10 mètres (10MWT). Malgré sa pertinence clinique, elle n'est pas systématiquement analysée dans les études primaires et reste donc peu rapportée

dans les revues systématiques et méta-analyses incluses dans cette *umbrella review*.

Sur les sept études incluses, seules quatre rapportent des résultats concernant la vitesse de marche avec un total de 10 comparaisons intergroupes présentant une SMD ou une MD. Parmi celles-ci, une seule montre une amélioration modérée significative en faveur de la RAGT par rapport à la CT (SMD = 0,56 ; IC à 95 % n'englobant pas 0) dans l'étude de *Cortés-Pérez et al.*, [23]. Aucun effet différé n'est retrouvé au suivi concernant la vitesse de marche. Dans une comparaison de cette même étude (RAGT + CT contre CT), l'effet est même négatif après quatre à six semaines.

Dans les autres comparaisons, les effets sont globalement faibles, voire contradictoires. Par exemple, toujours dans l'étude de *Cortés-Pérez et al.*, [23], les comparaisons entre RAGT et TT rapportent une amélioration faible mais non significative, tant immédiatement après l'intervention qu'au suivi à deux mois. De même, dans les autres études, les comparaisons entre RAGT et physiothérapie seule, ou entre RAGT combinée à une autre thérapie et cette thérapie seule, présentent des effets négligeables à faibles et non significatifs.

3. Mesure globale de la fonction motrice

La GMFM est une mesure observationnelle fiable largement utilisée en clinique pour évaluer la capacité motrice des enfants atteints de PC (*Choi, 2024*) [58]. Sachant que les limitations motrices impactent la qualité de vie des enfants atteints de PC, il est pertinent d'étudier l'impact de la RAGT sur cette mesure. La pertinence de son utilisation se reflète dans les études. En effet, à la fois pour la dimension D et la dimension E, de nombreuses valeurs statistiques sont rapportées.

4. Dimension D de la mesure globale de la fonction motrice

Tableau 9 – Effets de la RAGT sur la dimension D de la GMFM.

Etude	Dimension D GMFM		
	Type de comparaison	SMD / MD	IC
Cortés-Pérez et al [23]	RAGT vs. CT	-0,12	-0,61 à 0,36
	RAGT vs. TT	-0,01	-0,52 à 0,5
		Au suivi à 2 mois	Au suivi à 3 mois
		-0,01	-0,52 à 0,49
		0,22	-0,13 à 0,56
	RAGT plus CT vs. CT	Au suivi à 3 mois -0,15	Au suivi à 3 mois -0,28 à 0,57
Martino Cinnera et al., [45]	N/A	N/A	N/A
Lim et al [41]	RAGT vs. CT	0,79	0,34 à 1,24
Llamas-Ramos et al [53]	RAGT vs. aucun traitement	N/A	N/A
Wang et al [46]	RAGT plus CT vs. CT	0,84	0,54 à 1,15
Olmos-Gómez et al [54]	RAGT avec la physiothérapie vs. physiothérapie	0,05	-0,56 à 0,66
	RAGT vs. physiothérapie	-0,03	-0,49 à 0,43
	RAGT vs. physiothérapie	10,15%	-5,92 à 26,22
Vezér et al [6]	RAGT vs. TT	- 3,48 %	-26,8 à 19,90

La dimension D correspond à l'évaluation de la station debout avec ou sans appui. Elle permet d'évaluer l'équilibre, le contrôle postural, et les transferts. Cette dimension contient treize items (Russell & Rosenbaum, 2002)[59]. Cinq des sept études incluses rapportent des résultats concernant cette dimension. Onze SMD ou MD résultent de comparaisons. Au total, huit comparaisons sur onze présentent des effets nuls ou négatifs (Cortés-Pérez et al., 2022 ; Olmos-Gómez et al., 2021 ; Vézér et al., 2024)[22] [54] [6]. Des effets d'amélioration importante significatifs sont tout de même rapportés dans les études de Lim et al., et Wang et al., [41] [46] en faveur de la RAGT par rapport à une CT. Dans l'étude de Lim et al., [41] la RAGT seule est comparée à la CT. Dans celle de Wang et al., [46] la RAGT est utilisée en complément de la CT.

5. Dimension E de la mesure globale de la fonction motrice

Tableau 10 – Effets de la RAGT sur la dimension E de la GMFM.

Etude	Dimension E GMFM		
	Type de comparaison	SMD / MD	IC
Cortés-Pérez et al., [23]	RAGT vs. CT	0,63	0,12 à 1,14
	RAGT vs. TT	Au suivi à 2 mois 0,16 à 2	Au suivi à 2 mois -0,35 à 0,7
		0,11	-0,4 à 0,62
	RAGT plus CT vs. CT	Au suivi à 3 mois 0,02 à 3	Au suivi à 3 mois -0,41 à 0,44
		0,13	-0,21 à 0,47
Martino Cinnera et al., [45]	N/A	N/A	N/A
Lim et al., [41]	RAGT vs. CT	0,79	0,34 à 1,24
Llamas-Ramos et al [53]	N/A	N/A	N/A
Wang et al [46]	RAGT plus CT vs. CT	0,78	0,43 à 1,14
Olmos-Gómez et al [54]	RAGT avec la physiothérapie vs. physiothérapie		
		0,07	-0,52 à 0,66
Vezér et al., 2024 [6]	RAGT vs. physiothérapie	0,1	-0,36 à 0,57
	RAGT vs. TT	7,77%	-5,95 à 21,50
		0,28 %	-23,38 à 22,83

La dimension E correspond à l'évaluation de la marche, de la course et du saut. Elle comprend 23 items incluant la marche, les changements de direction, les franchissements d'obstacles, les sauts, et la coordination des mouvements (*Russell & Rosenbaum, 2002*)[59]. Comme la dimension D, cinq études sur sept rapportent des résultats. On y retrouve également onze résultats exploitables soit par le SMD soit par le DM. Trois comparaisons dans les études de *Lim et al., [41]*, *Wang et al., [46]* et *Cortés-Pérez et al., [23]* rapportent des effets significatifs, avec des tailles d'effet modérées (SMD = 0.79 ,0.78, 0.63). Dans ces trois cas, la RAGT seule ou associée à la CT, est comparée à une CT. À l'inverse, les travaux de *Vezér*

et al., [6] et *Olmos-Gómez et al.*, [54] ne montrent pas d'amélioration statistiquement significative. Ainsi, sur les onze comparaisons entre la RAGT et d'autres traitements, trois montrent que la RAGT améliore significativement la dimension E de la GMFM.

V) Discussion

A) Rappel des objectifs

En menant cette étude, notre objectif principal était de mettre en évidence les apports et les limites de la rééducation robotisée pour les enfants atteints de PC, mais également d'identifier pour chaque paramètre d'intervention (durée de séance, fréquence et durée totale d'intervention), les valeurs les plus couramment utilisées dans la littérature actuelle.

B) Supériorité relative de la RAGT selon le type de comparaison

Pour l'ensemble des variables analysées (longueur de pas, vitesse de marche, dimensions D et E de la GMFM), dans six cas sur sept où des effets modérés à importants et statistiquement significatifs étaient observés, les comparaisons opposaient soit la RAGT seule, soit la RAGT combinée à une CT, à la CT seule. Ces résultats suggèrent que la RAGT ne serait pas nécessairement supérieure à la physiothérapie ou à la TT, mais qu'elle pourrait présenter une supériorité par rapport à la CT seule. Ces résultats semblent cohérents puisque bénéficier d'une thérapie active pour le groupe témoin peut réduire la taille de l'effet observé (SMD), comme les deux groupes (témoins et expérimentaux) sont susceptibles de progresser en parallèle. La diversité des protocoles utilisés dans les études pourrait en partie expliquer la difficulté à dégager des différences nettes entre les thérapies évaluées.

C) Effet de la RAGT sur la fonction motrice et la locomotion

Parmi les paramètres étudiés, ceux les plus susceptibles d'être améliorés par la RAGT comparé à d'autres thérapies sont la dimension E du GMFM avec une amélioration significative rapportée dans trois études sur sept ainsi que la dimension D, améliorée de manière significative dans deux études sur sept. Pour les paramètres locomoteurs, les bénéfices de la RAGT restent discutables. Bien qu'aucune régression n'ait été constatée, les faibles améliorations induites par la RAGT restent à chaque fois non significatives. Si ces améliorations, bien que

faibles, s'avéraient significatives, il serait alors pertinent de se demander si elles seraient suffisantes pour entraîner une amélioration fonctionnelle dans la vie quotidienne.

D) Influence des paramètres de protocole sur les résultats

En comparant le tableau de la longueur de pas (*tableau 7*) et celui de la vitesse de marche (*tableau 8*) avec le tableau des durées d'intervention (*tableau 6*), le graphique du temps de séance (*fig. 14*) et le graphique de la fréquence de séance (*fig. 15*), on peut observer que les études ayant obtenu le plus de résultats ne présentent pas un protocole différent des autres. La durée, la fréquence des séances et la durée totale d'intervention ne semblent donc pas être des variables influençant directement les résultats obtenus pour la longueur de pas et la vitesse de marche dans notre étude.

En comparant par contre les tableaux des dimensions E (*tableau 10*) et D (*tableau 9*) avec les graphiques du temps de séance (*fig. 14*), de la fréquence hebdomadaire (*fig. 15*) et le tableau de la durée d'intervention (*tableau 6*), on observe que les études ayant rapporté des améliorations significatives (*Lim et al.*, ; *Wang et al.*) présentent une fréquence de séance maximale par semaine plus élevée que les autres études. L'hypothèse serait donc que la RAGT pourrait engendrer des améliorations significatives sur les dimensions D et E de la GMFM par rapport aux autres traitements lorsque la fréquence hebdomadaire de séance est élevée.

Au niveau des protocoles de RAGT actuellement décrits dans la littérature, nous avons vu précédemment qu'un format de 40 ± 5 minutes d'entraînement, à raison de quatre à cinq séances par semaine pendant 1 à 3 mois, est généralement privilégié. Ces modalités d'entraînements correspondent à un mode intensif coïncident avec les travaux menés par *Arpino et al.*, [\[60\]](#) qui mettent en évidence que les CT intensives entraînent des améliorations significatives de la fonction motrice globale chez les enfants atteints de PC comparativement aux modalités moins intensives. Néanmoins, il est nécessaire en clinique de tenir compte de la fatigue du patient; des douleurs musculaires étant souvent rapportées lors des premières séances (*HAS, 2021*)[\[4\]](#). Il faut aussi tenir compte de la sévérité de l'atteinte. Une sévérité importante entraînera une fatigue prématurée par rapport à un niveau d'atteinte plus faible. Les variabilités individuelles telles que l'âge, la

tolérance à l'effort, la motivation doivent aussi être prises en compte afin d'adapter les protocoles pour proposer une approche centrée sur le patient.

E) Âge et niveau de sévérité optimaux : tendances difficiles à dégager

En raison de la variabilité intra-étude concernant les tranches d'âge pris en compte et de nos résultats mettant en évidence une incertitude quant aux bénéfices de la RAGT, il demeure difficile de dégager une tendance claire permettant de formuler des recommandations sur l'âge le plus propice à la mise en place d'une RAGT optimisant les résultats. Néanmoins, la HAS suggère des interventions à partir de l'âge de 2 ans. Concernant la sévérité, pour les mêmes raisons évoquées précédemment, il n'a pas été possible de dégager une tendance claire quant au niveau de GMFCS le plus favorable aux effets de la RAGT. Une étude pilote étudiant les résultats de marche obtenus avec RAGT en fonction des niveaux II à IV de la GMFCS indique que l'amélioration des résultats liés à la marche n'a pas été différente entre les groupes de niveau (*Van Hedel et al., 2015*)[\[61\]](#). Une revue systématique indique que l'ajout de RAGT à l'entraînement locomoteur n'améliore pas significativement les résultats moteurs chez les enfants atteints de PC dans les niveaux III, IV et V de la GMFCS (*Pool et al., 2020*)[\[62\]](#). Un essai clinique randomisé croisé indique que des améliorations significatives dans les scores GMFM D ont été principalement observés chez les enfants avec des niveaux GMFCS II à III par rapport à ceux classés au niveau IV ($p = 0,038$) (*Jin et al., 2020*)[\[63\]](#).

F) Perspectives

Dans l'étude de Cortéz-Perez, des résultats importants ont été constatés pour la longueur de pas au suivi à deux mois alors qu'aucune amélioration n'a été constatée immédiatement après l'intervention. Ce délai dans l'apparition de l'effet pourrait refléter le temps nécessaire à l'intégration neuromotrice des schémas de marche travaillés avec l'assistance robotisée. Nous suggérons pour les prochaines études randomisées contrôlées de privilégier des longues périodes d'interventions et de suivi auprès de groupes de patients homogènes. L'analyse de la cinématique est encore peu présente dans les études sur la RAGT chez les enfants atteints de PC. Elle devrait être intégrée pour permettre une mesure des paramètres articulaires et des stratégies locomotrices pour ainsi détecter des évolutions motrices subtiles non représentées dans les scores fonctionnels globaux. Les

variables évaluées pourraient être en plus des paramètres locomoteurs et de la fonction motrice globale, des échelles subjectives telles que la *Canadian Occupational Performance Measure* (CMOP) [64] ou l'échelle *Activities Scale for Kids* (ASK) (Young et al., 2000)[65] pour les parents et/ou les enfants pour pouvoir investiguer sur les bénéfices perçus de la RAGT sur la vie quotidienne de l'enfant et la satisfaction vis-à-vis des progrès réalisés. L'évaluation de la satisfaction, de la perception de l'autonomie et de la participation sociale permet de prendre en compte des aspects qui font sens pour l'enfant et sa famille, au-delà des seules performances motrices.

G) Limites

Les principales limites de notre étude sont le faible nombre d'études incluses. L'hétérogénéité des données et le manque de résultats subjectifs rapportés par les parents ou enfants pouvant témoigner d'une amélioration dans la vie quotidienne.

VI) Conclusion

Ce travail a contribué à établir une vue d'ensemble des données existantes sur les apports et limites des exosquelettes robotisés de la marche pour la rééducation fonctionnelle des enfants atteints de PC. Les exosquelettes robotisés de la marche peuvent être utilisés en clinique comme un outil thérapeutique complémentaire au traitement conventionnel, afin de favoriser une approche variée et ludique, notamment lorsqu'ils sont combinés à la réalité virtuelle (Lim et al., 2024)[41], permettant ainsi d'augmenter l'adhésion au traitement. Ils permettent à l'enfant de passer davantage de temps en position verticale, ce qui contribue à limiter les complications liées à l'immobilisation prolongée. Ils semblent présenter des bénéfices pour la motricité fonctionnelle globale. En revanche, les effets sur les paramètres locomoteurs sont plus discutés dans la littérature, avec peu d'améliorations significatives rapportées par rapport aux autres thérapies.

La RAGT pourrait s'avérer plus bénéfique qu'un traitement conventionnel, mais elle ne paraît pas présenter une supériorité claire par rapport à la thérapie par tapis roulant ou à la physiothérapie.

Les résultats doivent être interprétés avec prudence, indépendamment de leur qualité statistique, en raison du faible nombre d'études incluses et de

l'hétérogénéité dans les études tant au niveau des profils des participants que des protocoles utilisés.

Il est nécessaire de continuer à s'intéresser à ce sujet en menant des recherches supplémentaires avec un suivi à long terme sur des groupes homogènes, afin d'augmenter le niveau de preuve des résultats et de mieux identifier les variables individuelles influençant les effets observés pour ainsi pouvoir proposer en clinique une prise en charge optimale, adaptée pour chaque patient.

VII] Bibliographie

1 Touya, K. (2025, 22 avril). *Accueil - la Fondation Paralysie Cérébrale*. Fondation Paralysie Cérébrale. <https://fondationparalysiecerebrale.org/>

2 https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2024-04/ac_2024_0019_ki_ne_enfant_paralysie_cerebrale_vd.pdf

3 Maaoui, R., Karoui, S., Hfaïdh, M., Mouhli, N., Ezzine, Z., Ksibi, I., Rahali, H., Barakizou, H., & Hamdi, K. (2023). *Cerebral palsy of the child in rehabilitation environment: Epidemiologic and clinical profile and therapeutic modalities*. *La Tunisie Médicale*, 101(7), 642–647. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11217962/>

4 Haute Autorité de Santé. (2021). *Rééducation et réadaptation de la fonction motrice de l'appareil locomoteur des personnes diagnostiquées de paralysie cérébrale* (Recommandation de bonne pratique). https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2021-12/reco355_rbp_paralysie_cerebrale_cd_2021_10_21_lg_v0_post_endossement_lg.pdf

5 Wallard, L. (2014). *Étude de la marche avant et après une rééducation robotisée chez des enfants présentant des troubles locomoteurs* [Thèse de doctorat, Université Paris Descartes]. Thèses.fr. <https://www.theses.fr/2014PA05L001>

6 Vezér, M., Gresits, O., Engh, M. A., Szabó, L., Molnar, Z., Hegyi, P., & Terebessy, T. (2023). Evidence for gait improvement with robotic-assisted gait training of children with cerebral palsy remains uncertain. *Gait & Posture*, 107, 8-16. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.08.016>

7 Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D., Dan, B., & Jacobsson, B. (2007). A report: The definition and classification of

cerebral palsy April 2006. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(s109), 8–14. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.tb12610.x>

8https://oer.uclouvain.be/jspui/bitstream/20.500.12279/259/1/Pierre-Louis%20Docquier_Paralysie%20c%C3%A9r%C3%A9brale.pdf

9 Touya, K. (2024b, juillet 9). *Qu'est-ce que la paralysie cérébrale ?* - La Fondation Paralysie Cérébrale. Fondation Paralysie Cérébrale. <https://fondationparalysiecerebrale.org/la-paralysie-cerebrale/>

10 *Surveillance of Cerebral Palsy in Europe*. (s. d.-b). <https://scpe.edu.eacd.org/scpe/cerebral-palsy.php>

11 Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE). (2017). *SCPE Guidelines: Data Submission CP Cases*. SCPE. http://c28-scpe.hiim.hr/images/c28scpe/SCPE_guidelines_2017.pdf

12 Pierret, J. (2020). *Troubles associés de la locomotion et du contrôle postural des segments axiaux chez les enfants atteints de paralysie cérébrale : impact d'une rééducation centrée sur le tronc* [Thèse de doctorat, Université de Lorraine]. HAL. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-02962810v1>

13 Organisation mondiale de la Santé. (2001). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé : CIF*. Organisation mondiale de la Santé. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42418>

14 Mutlu, A., Büğüsan, S., & Kara, Ö. K. (2017). Impairments, activity limitations, and participation restrictions of the international classification of functioning, disability, and health model in children with ambulatory cerebral palsy. *Saudi Medical Journal*, 38(2), 176–185. <https://doi.org/10.15537/smj.2017.2.16079>

15 Beckung, E., & Hagberg, G. (2002). *Neuroimpairments, activity limitations, and participation restrictions in children with cerebral palsy*. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 44(5), 309–316. <https://doi.org/10.1017/s0012162201002134>

16 Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E., & Galuppi, B. (1997). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 39(4), 214–223. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x>

17 Paulson, A., & Vargus-Adams, J. (2017). Overview of four functional classification systems commonly used in cerebral palsy. *Children*, 4(4), 30. <https://doi.org/10.3390/children4040030>

18 Morris, C., & Bartlett, D. (2004). *Gross Motor Function Classification System: Impact and utility*. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 46(1), 60–65. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2004.tb00436.x>

- 19 Puspitasari, M., Rusmil, K., & Gurnida, D. (2013). *The relationship between gross motor function and quality of life among children with cerebral palsy*. Disability, CBR & Inclusive Development, 24(4), 57–68. <https://doi.org/10.5463/DCID.v24i4.243>
- 20 Jarrassé, N. (2010, 22 septembre). *Contributions à l'exploitation d'exosquelettes actifs pour la rééducation neuromotrice*. <https://theses.hal.science/tel-00641079v1>
- 21 Ordre des masseurs-kinésithérapeutes. (n.d.). *Quelle rééducation en kinésithérapie pour la paralysie cérébrale de l'enfant ?* <https://www.ordremk.fr/actualites/patients/quelle-reeducation-en-kinesitherapie-pour-la-paralysie-cerebrale-de-lenfant/>
- 22 Auffray, M., 2021. *Impact of a Muscle Strengthening Program on the Quality of Life of Children with Cerebral Palsy*, DUMAS - Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance. France. Retrieved from <https://coilink.org/20.500.12592/26y8u8u> on 26 Apr 2025. COI: 20.500.12592/26y8u8u
- 23 Cortés-Pérez, I., González-González, N., Peinado-Rubia, A. B., Nieto-Escamez, F. A., Obrero-Gaitán, E., & García-López, H. (2022). *Efficacy of robot-assisted gait therapy compared to conventional therapy or treadmill training in children with cerebral palsy: A systematic review with meta-analysis*. Sensors, 22(24), 9910. <https://doi.org/10.3390/s22249910>
- 24 Haute Autorité de Santé. (2012). *Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte* (Argumentaire). https://www.has-sante.fr/jcms/c_1335224/fr/accident-vasculaire-cerebral-methodes-de-reeducation-de-la-fonction-motrice-chez-l-adulte-argumentaire
- 25 Le Maître, O. (2021). *L'utilisation de la méthode de rééducation intensive HABIT-ILE en ergothérapie* [Mémoire de fin d'études, Institut de Formation en Ergothérapie ADERE Paris]. Association Nationale Française des Ergothérapeutes (ANFE). <https://anfe.fr/wp-content/uploads/2022/04/LE-MAITRE-Orlane-82e303d9.pdf>
- 26 Bleyenheuft, Y., Arnould, C., Brandao, M. B., Bleyenheuft, C., & Gordon, A. M. (2015). *Hand and Arm Bimanual Intensive Therapy Including Lower Extremity (HABIT-ILE) in children with unilateral spastic cerebral palsy: A randomized trial*. Neurorehabilitation and Neural Repair, 29(7), 645–657. <https://doi.org/10.1177/1545968314562109>
- 27 Julie Fontenas. *L'intérêt de l'activité physique adaptée dans l'amélioration de la qualité de vie des enfants atteints de paralysie cérébrale*. Médecine humaine et pathologie. 2021. <dumas-03356561> <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03356561v1>
- 28 Payan, S. (2023). *L'intérêt des exosquelettes dans la rééducation à la marche chez les patients blessés médullaires incomplets : une revue systématique de littérature* [Mémoire

de fin d'études, Université d'Aix-Marseille]. DUMAS.

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04265745v1>

29 Gopura, R. A. R. C., & Kiguchi, K. (2009). Mechanical designs of active upper-limb exoskeleton robots: State-of-the-art and design difficulties. *2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 178–187.

<https://doi.org/10.1109/ICORR.2009.5209630>

30 ErgoFrance. (2023, 21 novembre). *Exosquelette passif Mate XT - ErgoFrance*.

<https://www.ergofrance.com/produit/exosquelette-passif-mate/>

31 Aurich-Schuler, T., Grob, F., Van Hedel, H. J., & Labruyère, R. (2017). Can Lokomat therapy with children and adolescents be improved ? An adaptive clinical pilot trial comparing Guidance force, Path control, and FreeD. *Journal Of NeuroEngineering And Rehabilitation*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0287-1>

32 Hocoma. (2024, 9 mai). *Legal notes - Hocoma*.

https://www.hocoma.com/legal-notes/?_gl=1*y4g5f3*_up*MQ..*_ga*Mzc0MDI5ODg1LjE3NDE3OTg2OTQ.*_ga_TJ0VMN8KZJ*MTc0MTc5ODY5NC4xLjEuMTc0MTc5ODc5My4wLjAuMA..#lokomatpro_lokomatnanos

33 Wallard, L., Dietrich, G., Kerlirzin, Y., & Bredin, J. (2017). Robotic-assisted gait training improves walking abilities in diplegic children with cerebral palsy. *European Journal Of Paediatric Neurology*, 21(3), 557-564.

<https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2017.01.012>

34 Perry, J., & Burnfield, J. (2024). GAIT analysis. Dans *CRC Press eBooks*.

<https://doi.org/10.1201/9781003525592>

35 Takakusaki, K. (2017). Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *Journal Of Movement Disorders*, 10(1), 1-17. <https://doi.org/10.14802/jmd.16062>

36 Phillipson, M. (1905). *L'autonomie et la centralisation dans le système nerveux des animaux*. Travaux du Laboratoire de Physiologie de l'Institut Solvay, 7, 1–208.

37 McCrea, D. A. (2001). Spinal circuitry of sensorimotor control of locomotion. *The Journal Of Physiology*, 533(1), 41-50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0041b.x>

38 Barbeau, H., & Rossignol, S. (1987). Recovery of locomotion after chronic spinalization in the adult cat. *Brain Research*, 412(1), 84-95.

[https://doi.org/10.1016/0006-8993\(87\)91442-9](https://doi.org/10.1016/0006-8993(87)91442-9)

39 Barbeau, H., McCrea, D. A., O'Donovan, M. J., Rossignol, S., Grill, W. M., & Lemay, M. A. (1999). Tapping into spinal circuits to restore motor function. *Brain Research Reviews*, 30(1), 27-51. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(99\)00008-9](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(99)00008-9)

- 40 Hocoma. (2018). *Lokomat® User Script* (Version du 22 mars 2018).
https://knowledge.hocoma.com/wp-content/uploads/2019/03/Lokomat_User_Script_EN_20180322.pdf
- 41 Lim, J., Kang, E., Park, S., & Kim, B. (2024). Effects of robot rehabilitation on the motor function and gait in children with cerebral palsy : a systematic review and meta-analysis. *Journal Of Exercise Rehabilitation*, 20(3), 92-99.
<https://doi.org/10.12965/jer.2448186.093>
- 42 Jarrassé, N. (2019). *Les exosquelettes*. Techniques de l'Ingénieur.
<https://doi.org/10.51257/a-v1-s7704>
- 43 Tedla, J. S., Dixit, S., Gular, K., & Abohashrh, M. (2019). Robotic-Assisted Gait Training Effect on Function and Gait Speed in Subacute and Chronic Stroke Population : A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *European Neurology*, 81(3-4), 103-111. <https://doi.org/10.1159/000500747>
- 44 Candogan, C. (2021). *Efficacité de l'entraînement à la marche assistée par robot sur l'équilibre et la marche après un accident vasculaire cérébral : Une revue systématique de littérature* [Mémoire de fin d'études, Université de Lyon, Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation, Département Masso-Kinésithérapie].
- 45 Cinnera, A. M., Ciancarelli, I., Paolucci, T., Merla, A., Di Nicola, M., Perpetuini, D., D'Arienzo, M., Genovesi, G., Moretti, A., Russo, E. F., Gatta, M. T., Gimigliano, F., Cardone, D., & Morone, G. (2025). Evaluation of the Effectiveness of Lokomat® Robot-assisted Gait Training in Children with Cerebral Palsy : A Systematic Review. *Neurorehabilitation*. <https://doi.org/10.1177/10538135241296010>
- 46 Wang, Y., Zhang, P., & Li, C. (2023). Systematic review and network meta-analysis of robot-assisted gait training on lower limb function in patients with cerebral palsy. *Neurological Sciences*, 44(11), 3863-3875. <https://doi.org/10.1007/s10072-023-06964-w>
- 47 Hidler, J., Nichols, D., Pelliccio, M., Brady, K., Campbell, D. D., Kahn, J. H., & Hornby, T. G. (2009). Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(1), 5-13.
<https://doi.org/10.1177/1545968308326632>
- 48 *Research Guides : Knowledge syntheses : Systematic & ; Scoping Reviews, and other review types : What are Umbrella Reviews ?* (s. d.).
<https://guides.library.utoronto.ca/c.php?g=713309&p=5083951>
- 49 *Guides : Literature Reviews in the Health Sciences : Umbrella Review*. (s. d.).
<https://guides.lib.uh.edu/c.php?g=1207037&p=8831053>
- 50 Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E.,

McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement : an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

51 Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews* (Technical Report TR/SE-0401). Department of Computer Science, Keele University

52 Schardt, C., Adams, M. B., Owens, T., Keitz, S., & Fontelo, P. (2007). Utilization of the PICO framework to improve searching PubMed for clinical questions. *BMC Medical Informatics And Decision Making*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/1472-6947-7-16>

53 Llamas-Ramos, R., Sánchez-González, J. L., & Llamas-Ramos, I. (2022). Robotic Systems for the Physiotherapy Treatment of Children with Cerebral Palsy : A Systematic Review. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 19(9), 5116. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095116>

54 Olmos-Gómez, R., Gómez-Conesa, A., Calvo-Muñoz, I., & López-López, J. A. (2021). Effects of Robotic-Assisted Gait Training in Children and Adolescents with Cerebral Palsy : A Network Meta-Analysis. *Journal Of Clinical Medicine*, 10(21), 4908. <https://doi.org/10.3390/jcm10214908>

55 Cohen, J. (2013). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Dans *Routledge eBooks*. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

56 Clephas, P. R. D., & Heesen, M. (2022). Interpretation of meta-analyses. *Interventional Pain Medicine*, 1, 100120. <https://doi.org/10.1016/j.inpm.2022.100120>

57 Zaugg, V., Savoldelli, V., Sabatier, B., & Durieux, P. (2014). Améliorer les pratiques et l'organisation des soins : méthodologie des revues systématiques. *Santé Publique*, 26(5), 655–667. <https://doi.org/10.3917/spub.145.0655>

58 Choi, J. Y. (2024). Motor Function Measurement in Children : Gross Motor Function Measure (GMFM). *Annals Of Rehabilitation Medicine*. <https://doi.org/10.5535/arm.240078>

59 Russell, D. J., & Rosenbaum, P. L. (2002). *Gross Motor Function Measure (GMFM) Score Sheet (GMFM-88 and GMFM-66 scoring)*. CanChild Centre for Childhood Disability Research, McMaster University. https://www.canchild.ca/system/tenon/assets/attachments/000/002/900/original/GMFM_ScoreSheet.pdf

60 Arpino, C., Vescio, M. F., De Luca, A., & Curatolo, P. (2010). Efficacy of intensive versus nonintensive physiotherapy in children with cerebral palsy : a meta-analysis. *International Journal Of Rehabilitation Research*, 33(2), 165-171. <https://doi.org/10.1097/mrr.0b013e328332f617>

61 Van Hedel, H. J. A., Meyer-Heim, A., & Rüschoft, C. (2015). Robot-assisted gait training might be beneficial for more severely affected children with cerebral palsy.

Developmental Neurorehabilitation, 19(6), 410-415.
<https://doi.org/10.3109/17518423.2015.1017661>

62 Pool, D., Valentine, J., Taylor, N. F., Bear, N., & Elliott, C. (2020). Locomotor and robotic assistive gait training for children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 63(3), 328-335. <https://doi.org/10.1111/dmcn.14746>

63 Jin, L. H., Yang, S., Choi, J. Y., & Sohn, M. K. (2020). The Effect of Robot-Assisted Gait Training on Locomotor Function and Functional Capability for Daily Activities in Children with Cerebral Palsy : A Single-Blinded, Randomized Cross-Over Trial. *Brain Sciences*, 10(11), 801. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110801>

64 <https://www.thecopm.ca/>

65 Young, N. L., Williams, J. I., Yoshida, K. K., Bombardier, C., & Wright, J. (2000). The Activities Scale for Kids: An evaluation of reliability and validity. *Journal of Clinical Epidemiology*, 53(2), 125–137. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(99\)00146-3](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(99)00146-3)

Résumé

Objectifs: La paralysie cérébrale est la cause la plus fréquente de handicap moteur chez l'enfant. Elle entraîne des limitations de la fonction motrice, notamment de la marche, affectant l'autonomie et la qualité de vie. Ces dernières années, les exosquelettes robotisés de la marche sont de plus en plus utilisés en rééducation. Ce mémoire, sous la forme d'une *umbrella review* a pour objectif de synthétiser les données existantes et d'apporter une vision globale de la pertinence rééducative ainsi que des paramètres optimaux d'utilisation des exosquelettes robotisés de la marche dans le cadre de la rééducation fonctionnelle de l'enfant atteint de paralysie cérébrale.

Méthode: La recherche a été effectuée dans cinq bases de données en suivant les critères PICOS.

Résultats: Sept revues ont été incluses dans l'étude. Le paramètre le plus susceptible d'être amélioré par la RAGT comparée aux autres thérapies est la fonction motrice globale. En revanche, pour les paramètres locomoteurs, les bénéfices de la RAGT par rapport aux autres thérapies restent discutables. Peu d'améliorations significatives ont été constatées. La RAGT pourrait présenter une supériorité par rapport au traitement conventionnel. En revanche, elle ne semble pas présenter de supériorité par rapport à la thérapie sur tapis roulant ou à la physiothérapie.

Conclusion: Les exosquelettes robotisés de la marche peuvent être utilisés en complément d'une autre thérapie. Néanmoins il est nécessaire de réaliser des études supplémentaires pour pouvoir utiliser au mieux les exosquelettes robotisés de la marche dans le cadre de la prise en charge d'une rééducation fonctionnelle des enfants atteints de paralysie cérébrale.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Faculté des sciences de la motricité

Place Pierre de Coubertin, 1 bte L8.10.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | www.uclouvain.be/fsm