



INSTITUT DE FORMATION EN
MASSO-KINESITHERAPIE DU
CHU D'AMIENS – PICARDIE



UNIVERSITE DE PICARDIE
JULES VERNE

*Mémoire de fin d'études de masseur-kinésithérapeute
UE 28*

Place de la répétition du schéma sensori- moteur de la marche sur les capacités fonctionnelles de l'enfant paralysé cérébral

Stéphanie PAVY
2019

Directeur de mémoire : M. LECOUTRE Noël, Masseur-Kinésithérapeute, enseignant à l'IFMK d'Amiens et anciennement chef de service PEP80.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue dans l'accomplissement de ce projet de recherche :

- Toute l'équipe de l'Institut d'Education Motrice Antoine de Saint-Exupéry pour m'avoir accueillie chaleureusement.
- Tous les enfants participant aux différentes expérimentations. Sans eux, ce travail n'aurait pu aboutir.
- Monsieur Noel Lecoutre, directeur de mémoire, pour sa bienveillance et sa rigueur tant sur le plan scientifique que rédactionnel.
- Le Docteur Tuffin, médecin de Médecine Physique et Réadaptation, pour ses précieuses recommandations et avis.
- Les kinésithérapeutes Sandrine, Mehdi, Caroline, Christelle, Ryma, Margot, Aurélie ainsi que le coordinateur paramédical Nicolas pour leur contribution, leur soutien et leurs nombreux conseils.
- L'ensemble de l'équipe paramédicale et scolaire de l'institut d'avoir répondu à mes interrogations et de m'avoir orientée dans la prise en charge globale des enfants.
- Monsieur Guillaume pour son aide dans la réalisation de ce projet.
- L'ensemble du corps enseignant de l'IFMK d'Amiens pour la richesse de leur apprentissage et leur accompagnement tout au long de cette formation initiale.
- Mes amis, ma famille et plus particulièrement Gonzague sans qui rien n'aurait été possible.

Sommaire :

1.	Introduction	2
1.1.	Thématique de la recherche	2
1.2.	État de l’art	4
1.2.1.	La marche de l’enfant	4
1.2.1.1.	L’organisation biomécanique de la marche	4
1.2.1.2.	L’organisation neurophysiologique de la marche	7
1.2.1.3.	Age d’acquisition de la marche adulte	9
1.2.1.4.	La paralysie cérébrale	10
1.2.1.5.	La marche pathologique de l’enfant paralysé cérébral	17
1.2.2.	Les éléments factuels et recommandations.....	22
1.2.3.	Recherche	25
1.3.	Problématique.....	27
2.	Matériel et méthode.....	28
2.1.	Population d’étude.....	28
2.1.1.	Contexte règlementaire de la recherche.....	28
2.1.2.	Critères d’inclusion et d’exclusion	28
2.2.	Méthode	29
2.2.1.	Outils	29
2.2.2.	Protocole.....	32
2.2.3.	Traitements statistiques	35
2.3.	Organigramme matériel et méthode	36
3.	Résultats	37
3.1.	Caractéristiques de la population incluse	37
3.2.	Résultats chez les enfants cérébro-lésés	38
3.3.	Résultats chez les enfants diplégiques et chez les enfants hémiplegiques	41
4.	Discussion.....	46
4.1.	Résultats à la lumière de la problématique	46
4.2.	Résultats à la lumière de la littérature.....	47
4.3.	Perspectives et pistes de poursuite.....	49
	Conclusion	51
	Références bibliographiques	I
	Annexes	V

1. INTRODUCTION

1.1. Thématique de la recherche

La paralysie cérébrale est actuellement la cause la plus commune de handicap moteur de l'enfant. Elle touche 17 millions de personnes dans le monde dont 2/ 1000 naissances en France (1,2).

Ce terme de paralysie cérébrale désigne « *un groupe de troubles permanents du développement du mouvement et de la posture, responsables de limitations d'activité, imputables à des événements ou atteintes non progressives survenus sur le cerveau en développement du fœtus ou du nourrisson. Les troubles moteurs de la paralysie cérébrale sont souvent accompagnés de troubles sensoriels, perceptifs, cognitifs, de la communication et du comportement, par une épilepsie et par des problèmes musculo-squelettiques secondaires.* » (Définition collective internationale, Rosenbaum et coll., 2006 (3)).

Une autre définition, plus courte, est proposée par la SCPE (Surveillance of Cerebral Palsy in Europe) : [La paralysie cérébrale est définie comme] « *un trouble moteur permanent mais non immuable, secondaire à une lésion ou anormalité cérébrale, non évolutive, survenue sur un cerveau en développement* (4). »

La limite d'âge d'apparition de la lésion varie en fonction des pays entre 1 et 5 ans. En France, la notion de paralysie cérébrale est attribuée dans un délai de 2 ans (5).

Parmi les complications fonctionnelles, la perte de la marche représente l'une des plus fréquentes. Définie comme une activité motrice permettant à l'être humain de se déplacer d'un point à un autre dans son environnement, la marche nécessite un apprentissage long et difficile qui devient par la suite quasi automatique (1,6,7).

Un des acteurs essentiels de la prise en charge de l'enfant paralysé cérébral, du traitement de ses troubles moteurs et de sa marche est le kinésithérapeute. La kinésithérapie vient du grec « kinêsis » (mouvement) et « thérapeia » (soins médicaux, traitement), ce qui signifie : « soigner le mouvement » et « soigner par le mouvement ». Son objectif premier est la réadaptation fonctionnelle de l'individu (8).

La rééducation de la marche résulte en l'utilisation d'un ensemble de techniques destinées à établir ou à rétablir un maximum d'autonomie et d'endurance.

L'élaboration de ce mémoire trouve son origine dans les différents aspects de cette pathologie, sa fréquence, la population qu'elle touche ainsi que son rapport direct avec le métier de kinésithérapeute.

A cela s'ajoute la volonté de promouvoir la recherche sur la paralysie cérébrale, d'informer et de sensibiliser aussi bien le grand public, les professionnels de santé que les scientifiques.

Cette étude a été réalisée au sein de l'Institut d'Education Motrice (IEM) Antoine de Saint-Exupéry à Amiens, géré par l'association PEP 80. Ce centre accueille 92 enfants de 5 à 19 ans, atteints de pathologies motrices, avec ou sans troubles associés. Parmi eux, 55% sont atteints de paralysie cérébrale.

L'accueil d'un enfant dans cet établissement médico-social fait suite à une notification de la Commission des Droits et de l'Autonomie des Personnes Handicapées (CDAPH).

Selon le degré de la déficience motrice, l'enfant se déplace en marchant (avec ou sans aide technique), en fauteuil roulant manuel ou en fauteuil roulant électrique.

1.2.État de l'art

1.2.1. La marche de l'enfant

1.2.1.1. L'organisation biomécanique de la marche

La marche est une activité motrice cyclique alternant simple et double appuis ou appui uni- ou bipodal. Un cycle de marche se définit comme la période s'écoulant entre deux attaques successives du même pied au sol (c'est-à-dire, pour la marche normale, contact du talon au sol) (5,7,9,10).

Il est composé d'une phase d'appui (représentant environ 60% du cycle) et d'une phase d'oscillation (représentant environ 40% du cycle).

Ces phases principales peuvent également être sous-découpées (*Figure 1*), on distingue alors :

Pour la phase d'appui (temps où le membre inférieur est en contact avec le sol et supporte le poids du corps. Il assure la stabilité pendant que le membre inférieur controlatéral progresse) :

- *La phase de mise en charge* (0 à 10% du cycle de marche).

Elle débute par le contact initial du pied avec le sol (0 à 2%) et se termine par le lever du pied opposé. Elle correspond à la phase de mise en charge et au premier appui bipodal.

Son rôle est de transférer le poids du corps vers la jambe en phase d'appui, de maintenir la vitesse de marche tout en maintenant l'équilibre.

D'un point de vue cinétique, dès que le pied entre en contact avec le sol, la cheville est en flexion neutre (0°) puis en flexion plantaire de 5-10°, le genou et la hanche se fléchissent (respectivement de 15-20° et 25-30°) pour amortir le contact du pied au sol.

- *La phase de milieu d'appui* (10 à 30% du cycle de marche).

Elle correspond à la réponse du sol sur le pied et à la première moitié de l'appui unipodal.

Elle permet au corps d'avancer au-dessus du pied et se termine quand le centre de gravité se trouve à la verticale du pied. Le pied devient alors le pivot de la jambe contrôlant l'équilibre postural de l'ensemble du corps.

Cette phase se caractérise donc par l'appui de l'ensemble de la face plantaire au sol.

D'un point de vue cinétique, la cheville qui se trouvait en flexion plantaire passe en flexion dorsale (5°), le genou et la hanche vont vers l'extension (0°).

- *La phase de fin d'appui* (30 à 50% du cycle de marche).

Cette phase de deuxième moitié de l'appui unipodal est observée lorsque le pied controlatéral passe devant le pied d'appui.

Son rôle est de propulser le poids du corps en avant par une poussée.

Elle se termine au contact initial du pied controlatéral.

D'un point de vue cinétique, la cheville se trouve en flexion dorsale complète (15-20°) tandis que le genou et la hanche sont en extension complète (respectivement de 0° et de 15-20°).

- *La phase pré-oscillante* (50 à 60% du cycle de marche).

C'est la phase du deuxième appui bipodal. Progressivement, le poids du corps se transfère vers l'autre jambe provoquant un décollement du pied homolatéral (qui se retrouve en appui digitigrade).

Son rôle est la propulsion du centre de gravité vers l'avant.

D'un point de vue cinétique, la propulsion produit, sur la cheville, un début de flexion plantaire (d'environ 15°), le genou revient passivement en position de flexion (30-35°), la hanche reste en extension complète voire en hyperextension (5-10°).

Pour la phase oscillante (temps où le membre inférieur avance sans contact avec le sol, le poids du corps est alors supporté par le membre controlatéral) :

- *La phase de début d'oscillation* (60 à 73% du cycle de marche).

Elle correspond au premier tiers de la phase oscillante. Elle commence avec le décollage des orteils (provoquant une perte de contact du pied avec le sol) et se termine lorsque le pied passe à côté du pied controlatéral.

Son rôle est de contrôler la cadence et la liberté du passage du pas.

D'un point de vue cinétique, la cheville est en flexion plantaire maximale (15-20°), le genou est en flexion maximale à la fin de la phase (60-65°) et la hanche passe de son extension complète à une flexion d'environ 20°.

- *La phase de milieu d'oscillation* (73 à 86% du cycle de marche).

C'est le deuxième tiers de la phase oscillante.

Lors de cette phase, le pied oscillant passe à la verticale du corps dépassant ainsi le membre porteur.

Elle se termine quand le tibia est vertical.

D'un point de vue cinétique, la cheville réduit sa flexion plantaire passant ainsi progressivement de 15-20° à une flexion neutre (0°), le genou qui est en flexion maximale (60-65°) débute son extension (25°) et la hanche tend vers sa flexion maximale (30-35°).

- La phase de fin d'oscillation (86 à 100% du cycle de marche).

Cette phase correspond au troisième tiers de la phase oscillante.

Elle se termine par la pose suivante du talon au sol.

Son rôle est de préparer la mise en charge en réalisant un freinage actif lorsque le pied oscillant entre à nouveau en contact avec le sol.

D'un point de vue cinétique, la cheville est en flexion neutre (0°), le genou tend vers une extension neutre (0°) et la hanche atteint sa flexion maximale ($30-35^\circ$).

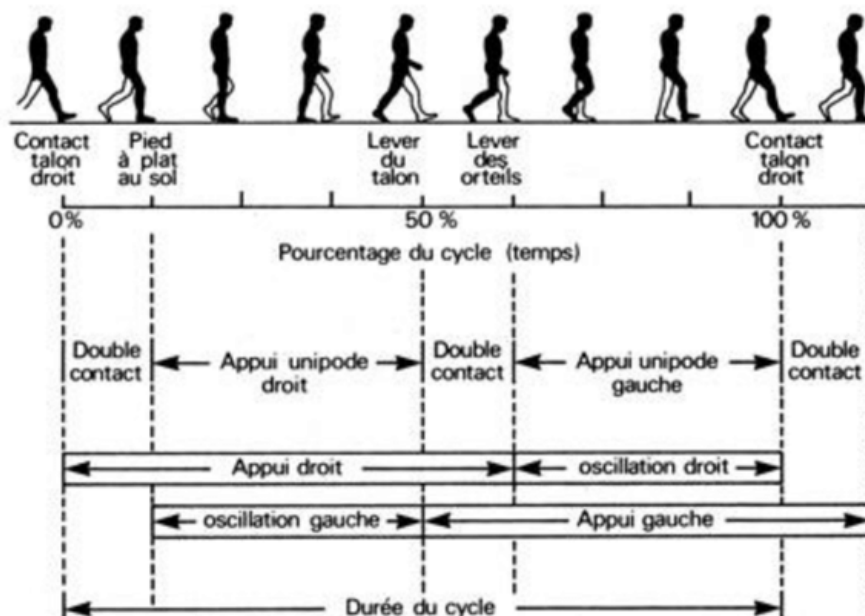


Figure 1: Les divisions du cycle de marche. D'après Viel (Viel 2000)

1.2.1.2. *L'organisation neurophysiologique de la marche*

La marche est un mouvement intentionnel et automatique impliquant une coordination entre la posture debout, l'équilibre et l'exécution du déplacement (11).

Le rôle du Système Nerveux Central (SNC) dans la marche est double. Il assure d'une part la commande des segments à mobiliser et d'autre part, il prévoit et régule un ensemble de commandes parallèles destinées à anticiper les déséquilibres posturaux qui accompagnent fréquemment la réalisation du mouvement (12).

Ces fonctions sont assurées par une organisation neurophysiologique complexe se basant sur un dialogue sensori-moteur impliquant une constante relation entre les différents systèmes sensoriels et les structures corticales et sous-corticales (13–16) (*Figure 2*).

L'intermodalité motrice (13,17,18) :

L'activité locomotrice s'inscrit dans le groupe des activités motrices programmées.

La planification, la programmation ou encore l'organisation du mouvement concernent les structures cérébrales les plus élevées dans la hiérarchie du système, c'est-à-dire les aires impliquées dans la motricité (cortex moteur primaire, cortex pré-moteur et aire motrice supplémentaire), les ganglions de la base et le cervelet.

Le tronc cérébral et la moelle épinière prennent le relais et s'occupent de l'exécution de la commande motrice et de la régulation du tonus musculaire afin de maintenir l'équilibre. Leurs activations génèrent alors le mouvement et la réalisation de l'ensemble des ajustements posturaux accompagnant ce dernier (synergies musculaires et articulaires).

La commande finale est alors envoyée au système musculo-squelettique via les motoneurones spinaux qui vont exciter respectivement les fibres musculaires permettant la mise en place des synergies motrices.

L'intermodalité sensorielle (7,13,17–21) :

La marche requiert l'acquisition de l'équilibre postural. Afin d'assurer cet équilibre, le sujet dispose d'un ensemble de capteurs permettant de transformer des informations dites afférentes (provenant à la fois de l'environnement mais également du corps lui-même) en informations reconnaissables par le système de traitement (De Rosnay, 1975).

Ces informations proviennent de différents systèmes sensoriels : le système musculo-articulaire tendineux utané, le système visuel et le système vestibulaire.

Dans le système musculo-articulaire tendineux et cutané, les récepteurs proprioceptifs permettent d'informer, de manière permanente, le sujet sur la position et le mouvement des différentes parties de son corps. Les récepteurs cutanés détectent les changements de pressions s'exerçant sur la peau au niveau des points d'appui. Les afférences cutanées plantaires, par exemple, sont sensibles aux variations d'amplitude, de la répartition statique des forces d'appui du corps au sol et de ses changements au cours du mouvement.

Les *récepteurs visuels* informent sur la position et les mouvements du corps par rapport à l'environnement mais également sur la verticalité de ce dernier. La vision périphérique intervient donc principalement. D'autre part, la reconnaissance et l'identification est assurée au niveau central, permettant la stabilité posturale du sujet. Le système visuel nécessite une mobilisation coordonnée de la tête, des yeux et du tronc.

Le système vestibulaire, véritable référentiel de l'orientation spatiale, est impliqué dans :

- Le maintien du tonus postural
- L'orientation antigravitaire du corps et de ses segments
- La rapidité des réactions aux accélérations linéaires et circulaires.

Afin d'assurer ces différents rôles, le système vestibulaire fait appel à deux réflexes : le réflexe vestibulo-spinal, permettant la station érigée ainsi que le réflexe vestibulo-oculaire, lequel stabilise le regard lors de l'équilibre statique mais également en situation de marche.

Ainsi, lors de la construction de la marche chez l'enfant, ce dernier doit apprendre à intégrer, à interpréter et à utiliser les différentes informations sensorielles disponibles pour le contrôle de l'équilibre de manière à adapter rapidement la locomotion aux modifications de l'environnement.

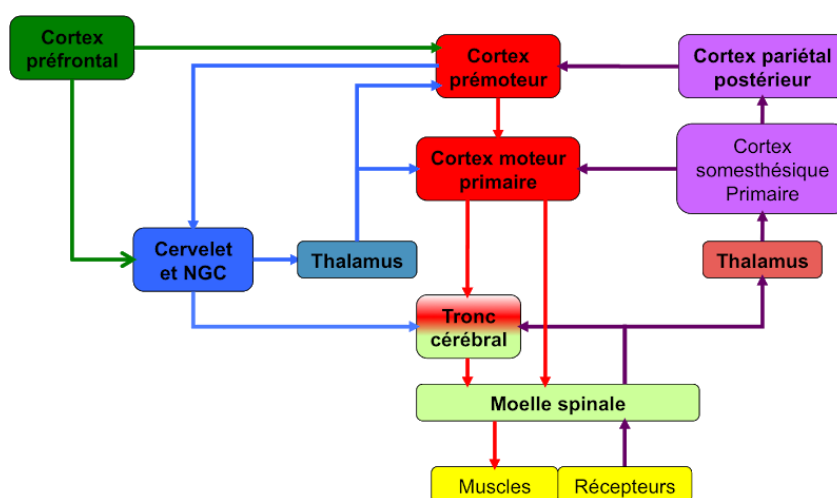


Figure 2: Organisation et interactions fonctionnelles simplifiées des principales structures corticales et sous-corticales impliquées dans la locomotion. Source : Organisation générale du système moteur.

<https://sites.google.com/site/aphysionado/home/fonctionssn/sv>

Ces capteurs ou récepteurs sensoriels permettent ainsi au SNC la construction d'une image cohérente du corps nécessaire à l'élaboration et au contrôle du mouvement. Cette image cohérente du corps, ou schéma corporel postural, s'appuie sur l'existence d'une représentation interne associant composante génétique et acquise par apprentissage.

Selon les connexions entre les stimuli sensoriels et la réaction de l'individu, trois formes principales d'apprentissage peuvent être sollicitées : l'apprentissage perceptif (capacité à reconnaître et à identifier des stimuli déjà présentés), l'apprentissage de type stimulus-réponse (où la présentation d'un stimulus entraîne des modifications comportementales, cet apprentissage peut être associatif ou non associatif), l'apprentissage relationnel (apprentissage existant entre des stimulations complexes).

1.2.1.3. Age d'acquisition de la marche adulte

Plusieurs études concernant le développement de la marche mettent en évidence qu'une grande partie des caractéristiques de la marche adulte est observée autour de l'âge de 7 ans.

Okamoto et Kumamoto (1972) via une étude électromyographique, montrent qu'aux alentours de 7ans, le pattern adulte de la marche est acquis (22).

L'étude de Ledebt et al (1998) s'est intéressée à l'âge d'acquisition des capacités d'ajustements posturaux anticipateurs. Cette recherche montre que ces capacités sont présentes dès le plus jeune âge (2,5 ans) mais qu'elles se rapprochent le plus de celles de l'adulte vers l'âge de 7 ans (23).

1.2.1.4. La paralysie cérébrale

La notion de Paralysie Cérébrale (PC (« Cerebral Palsy »)) comprend notamment les appellations suivantes (1) :

- L'I.M.C (Infirmité Motrice Cérébrale), trouble moteur sans retard intellectuel.
- L'I.M.O.C (Infirmité Motrice d'Origine Cérébrale), trouble moteur associé à un retard intellectuel et des déficiences sensorielles.
- Le Polyhandicap, déficience motrice et mentale lourde, avec une restriction extrême de l'autonomie et des possibilités de perception, d'expression et de relation.

Les étiologies sont nombreuses, même si certaines restent encore inconnues de nos jours (dans environ 40% des cas), la prématurité (avant 32 semaines d'aménorrhées) et/ou un poids de naissance inférieur à 1,5 kilogramme représentent un risque considérable de lésions cérébrales (1). Ces causes multiples peuvent être regroupées succinctement de la manière suivante (*Tableau I*) :

Tableau I : Etiologies de la Paralysie Cérébrale. Source : Bérard C, et al. La paralysie cérébrale de l'enfant. Guide de la consultation examen neuro-orthopédique du tronc et des membres inférieurs. Sauramps médical ; 2010 : p.25.

Causes anténatales	Causes néonatales	Causes post-natales
➤ Accident Vasculaire Cérébral (AVC) ➤ Malformations cérébrales ➤ Métabolique ➤ Infections (toxoplasmose, rubéole, cytomégalovirus etc.)	➤ Prématurité ➤ Retard de Croissance Intra-utérin (RCIU) ➤ Asphyxie aigüe intra-partum ➤ Encéphalopathie ischémique anoxique ➤ Infection ➤ Ictère nucléaire ➤ Hémorragie intra-ventriculaire	➤ Traumatisme Crânien (TC) ➤ Tumeurs ➤ Séquelles d'infection (méningite, méningoencéphalite etc.)

La paralysie cérébrale présente une grande variabilité de tableaux cliniques. Plusieurs classifications ont de ce fait été mises en place avec notamment :

- Classification selon le type d'atteinte neurologique prédominante (*Tableau II*) (3,5,24) :

Tableau II : Les différentes formes neurologiques de la Paralysie Cérébrale.

Forme spastique	Forme dyskinétique	Forme ataxique	Forme mixte
➤ Tractus pyramidal touché ➤ 85% des PC <u>Symptômes</u> - Signes pyramidaux - Tonus musculaire augmenté (ou Hypertonie)	➤ Tractus extra-pyramidal touché ➤ 7% des PC <u>Symptômes</u> - Mouvements involontaires, incontrôlés, récurrents - Tonus musculaire variable ➤ Hypertonie dans la forme dystonique ➤ Hypotonie dans la forme choréo-athétosique	➤ Lésions des voies cérébellaires ➤ 5% des PC <u>Symptômes</u> - Ataxie - Défaut de coordination motrice volontaire (dans les mouvements alternés, rapides) ➤ Hypotonie souvent associée	➤ Association de plusieurs formes cliniques - Ou, ➤ Paralysie Cérébrale sans atteinte neurologique prédominante

- Classification selon le type d'atteinte topographique prédominante (3,5,24) :

La paralysie cérébrale spastique se manifeste également selon différentes formes cliniques, en fonction du nombre et de la localisation des segments corporels atteints (*Tableau III et Figure 3*).

Tableau III : Les différentes formes topographiques de la Paralysie Cérébrale.

Forme bilatérale (atteinte des deux hémicorps)	Forme unilatérale (atteinte d'un hémicorps)
- Diplégie (diparésie), atteinte spastique des deux membres inférieurs. - Quadriplégie (tétraparésie), atteinte spastique des quatre membres. - Triplégie (triparésie), atteinte spastique des deux membres inférieurs et d'un membre supérieur.	- Hémiplégie (hémiparésie), atteinte spastique du membre supérieur et du membre inférieur du même côté. - Monoplégie (monoparésie), atteinte spastique d'un membre inférieur ou d'un membre supérieur.

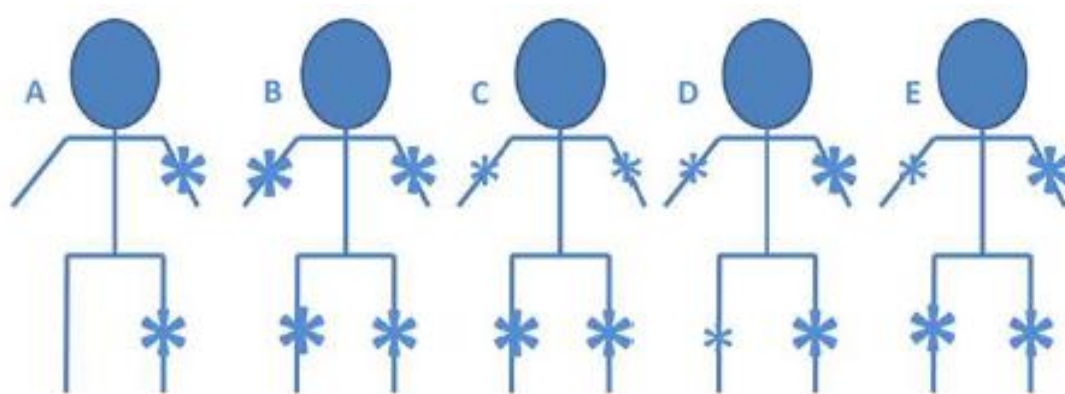


Figure 3: Différents tableaux cliniques de la PC de forme spastique. A: Hémiplégie, B: Quadriplégie, C: Diplégie, D: Diplégie asymétrique, E: Triplégie. La grosseur des astérisques représente le degré d'atteinte motrice. D'après Berweck (Berweck, Graham et al. 2003).

Le suffixe « -plégie » se distingue du suffixe « -parésie » par la sévérité du déficit moteur. Le terme « plégie » désignant une perte sévère ou totale de la motricité d'un ou de plusieurs membres tandis que le terme « parésie » est relatif à une atteinte partielle de la motricité.

- Classification selon la sévérité des déficiences :

Déficiences associées (1,5,9,25–27)

La fondation paralysie cérébrale rapporte qu'environ un tiers des enfants présentent un retard intellectuel (Quotient Intellectuel <50 ou retard mental modéré selon la Classification Internationale des Maladies, 10^{ème} révision, CIM-10), et 12% présentent un handicap visuel sévère.

Des tests existent afin de mesurer les capacités intellectuelles d'un enfant. Parmi ces tests, les échelles de Wechsler dont la Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC) sont les plus couramment utilisées.

La WISC comporte actuellement cinq versions, la dernière (WISC-V) est parue en 2014. Cependant, certains centres, dont l'Institut d'Education Motrice (IEM) Antoine de Saint-Exupéry à Amiens, utilisent toujours la quatrième version.

Se basant sur quatre grandes composantes (la compréhension verbale, le raisonnement perceptif, la mémoire de travail et la vitesse de traitement), la WISC-IV évalue les différentes aptitudes intellectuelles essentielles aux processus d'apprentissage.

A l'altération des capacités intellectuelles, peuvent se rajouter des troubles cognitifs spécifiques ou « troubles Dys ». La Fédération Française des DYS (FFDYS) regroupe ces troubles en 6 catégories distinctes (*Annexe 1*).

La dyspraxie ou « Trouble d'Acquisition de la coordination » (TAC) selon la référence du DSM IV/V (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders versions IV/V) ou encore « Trouble spécifique du développement moteur » selon la CIM-10 en fait partie.

Selon Mazeau (1995), les dyspraxies sont « *un trouble de la réalisation du geste, secondaire à l'impossibilité (ou l'anomalie) de programmer automatiquement et d'intégrer au niveau cérébral les divers constituants sensori-moteurs et spatio-temporels du geste volontaire. Il n'y a ni insuffisance d'apprentissage, ni déficit mental (...). Le handicap moteur, ou le retard intellectuel, quand ils existent, sont modérés et ne peuvent rendre compte des désordres observés* ».

Ainsi, dans le cadre de la paralysie cérébrale, les dyspraxies lésionnelles constituent un potentiel trouble associé mais ne sont pas caractéristiques de la pathologie.

De cette définition, se dégage cinq principaux types de dyspraxie chez l'enfant :

- La dyspraxie constructive visuospatiale (DVS) : difficultés d'assemblage imbriquées dans des difficultés d'analyse visuelle.
- La dyspraxie constructive non visuospatiale : difficultés d'assemblage sans difficultés d'analyse visuelle.
- La dyspraxie idéatoire : difficultés de manipulations d'objets et d'outils.
- La dyspraxie idéomotrice : difficultés à réaliser des gestes sans objet réel.
- La dyspraxie de l'habillage : difficultés pour s'habiller.

Aucun consensus, en France comme au niveau international, n'a été établi sur la définition, la ou les origines de ces troubles, ni sur un modèle de référence.

Le modèle intégratif de Lussier et Flessas (2005) (Figure 4) présente néanmoins « l'avantage de couvrir tous les aspects d'un geste effectué pour interagir avec l'environnement, et situe les différents problèmes rencontrés chez les enfants dyspraxiques (...) ». (Pannetier, 2007).

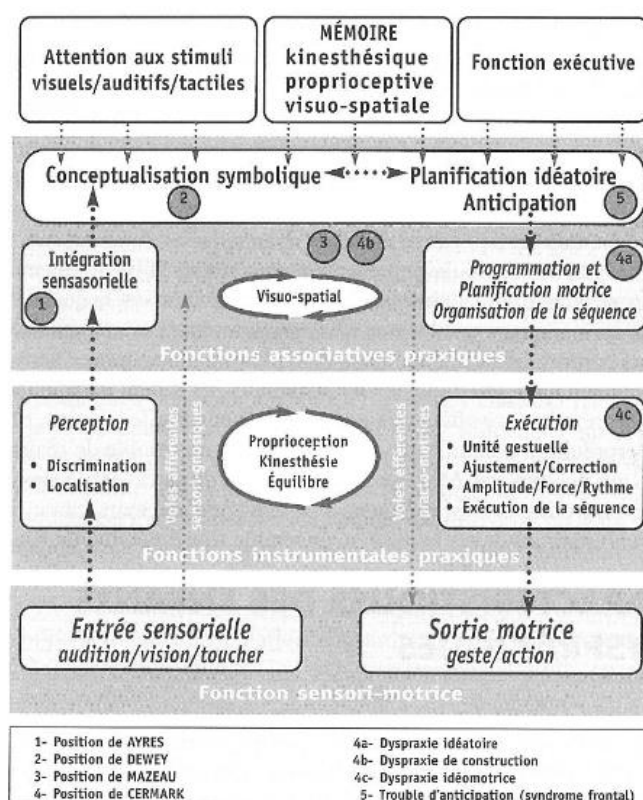


Figure 4: Le modèle intégratif de Lussier et Flessas. Source : Neuropsychologie de l'enfant : Troubles développementaux et de l'apprentissage. Dunod ; 2005 : 447 p.

Des problèmes d'élocution, d'incontinence, d'épilepsie et du comportement peuvent également être associés, touchant en moyenne un enfant sur quatre.

Un enfant sur cinq pourra être atteint de troubles du sommeil ou de contrôle de la salive.

La douleur est présente chez trois enfants sur quatre.

Les types de douleurs présentés par ces enfants sont les suivants : douleur pas excès de nociception, douleur neuropathique (dont l'allodynie : douleur provoquée par une stimulation habituellement non douloureuse et hyperpathie : douleur retardée et d'une durée supérieure à celle de la stimulation), douleur médiée par le sympathique ainsi que la douleur idiopathique ou psychogène.

Parmi les échelles disponibles, l'Echelle Visuelle Analogique (*Figure 5*) est une échelle d'auto-évaluation pouvant être utilisée dès l'âge de 6 ans. L'auto-évaluation semble souhaitable dès que la communication verbale avec l'enfant est possible et dès que ses capacités de compréhension des échelles le permettent.

L'intensité de la douleur est représentée par un trait sur une échelle : une extrémité correspond à la « douleur maximale imaginable » et l'autre extrémité correspond à « pas de douleur ».

L'échelle mesure 10cm, un chiffre exact de l'intensité de la douleur peut ainsi être rapporté.

Le résultat de l'évaluation de l'intensité douloureuse est le suivant :

- De 0 à 1 : simple inconfort.
- De 1 à 3 : douleur légère.
- De 3 à 5 : douleur modérée.
- De 5 à 7 : douleur intense.
- De 7 à 10 : douleur très intense.

Plusieurs mesures de l'intensité de la douleur doivent être prises en compte :

- L'intensité de la douleur au moment de l'évaluation.
- L'intensité habituelle de la douleur.
- L'intensité de la douleur la plus faible ressentie ces derniers jours.
- L'intensité de la douleur la plus forte ressentie ces derniers jours.

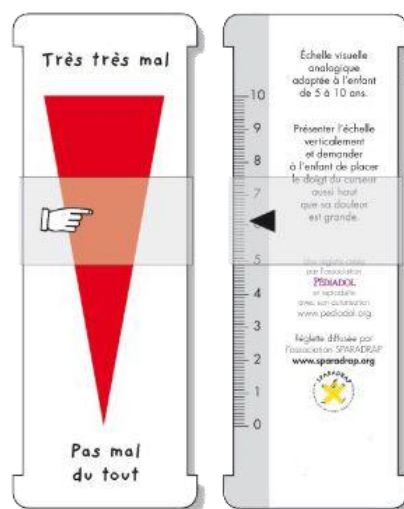


Figure 5: ANAES réglette Echelle Visuelle Analogique (EVA). www.pediadol.org

Déficience motrice (28,29)

Echelle d'évaluation de la motricité

Le « *Gross Motor Function Classification System* » (GMFCS, 1997) est une échelle d'évaluation motrice, validée et publiée pour les enfants atteints de paralysie cérébrale.

Elle permet de classer chaque enfant selon ses capacités motrices, du premier niveau où l'enfant est autonome dans son quotidien, au cinquième niveau, où une aide permanente est nécessaire aussi bien en termes de déplacement que de posture.

Pour chaque niveau, différentes descriptions sont fournies selon la tranche d'âge en question: de 0 à 2 ans (en âge corrigé), de 2 à 4 ans, de 4 à 6 ans et de 6 à 12 ans (*Annexe 2*).

En 2007, une nouvelle version, le « *Gross Motor Function Classification System Expanded and Revised* » (GMFCS – E&R) inclut également les adolescents de 12 à 18 ans.

Lors de la croissance de l'enfant, les troubles neuro-orthopédiques causés par les lésions cérébrales initiales vont évoluer (30). Classiquement, il est possible de les résumer de la manière suivante (*Figure 6*) :

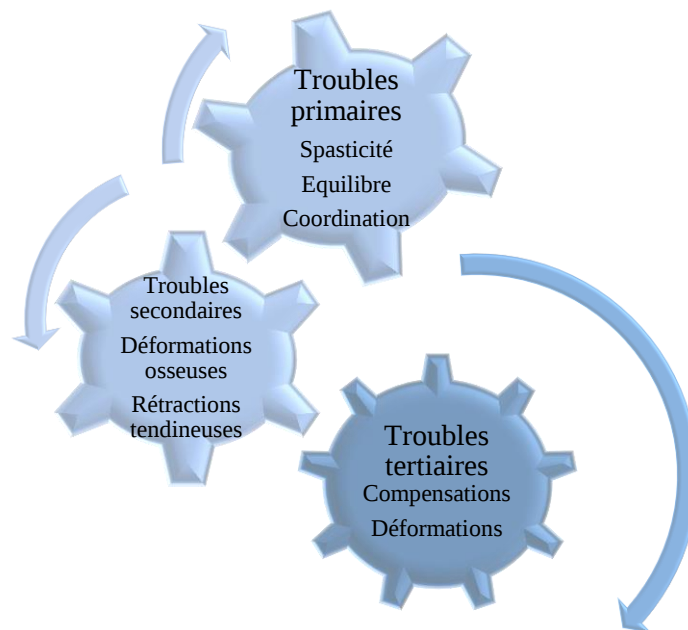


Figure 6: Les différentes lésions survenant au cours de la croissance de l'enfant. Source : Cottalorda J, Bourelle S, Chotel F, Dohin B, et al. *L'infirme moteur cérébral marchant : de l'annonce du handicap à la prise en charge de l'adulte*. Sauramps médical ; 2005 : p.169.

Ainsi, à l'aide des classifications ci-dessus, des résultats du GMFCS et de l'âge de l'enfant, une image globale des possibilités fonctionnelles du patient se dessine mais également de leurs limites. Un projet thérapeutique individualisé pourra ainsi se mettre en place. Parmi les objectifs de traitement, la rééducation de la marche, synonyme de gain en autonomie et en endurance, est souvent évoquée.

1.2.1.5. *La marche pathologique de l'enfant paralysé cérébral*

La marche pour un paralysé cérébral est définie comme la possibilité d'enchaîner dix pas sans l'aide d'une tierce personne. Elle se caractérise par un appui exclusif sur les membres inférieurs avec aide éventuelle des membres supérieurs (5).

D'après Beckung et al. (2008), sur plus de 10 000 enfants âgés de 5 ans et atteints de paralysie cérébrale, 54% marchent, 16% ont besoin d'aide technique et 30% ne marchent pas (31).

Origine de la marche pathologique (32)

Les anomalies secondaires vont contribuer à la marche pathologique de l'enfant. En effet, ces troubles provoquent, de manière générale, une dégradation de l'ensemble des paramètres locomoteurs ainsi qu'une mise en activation de groupes musculaires qui théoriquement ne devraient pas s'activer. La marche demandera alors davantage d'énergie et sera sujette à davantage de déformations.

Néanmoins, des mouvements et des mécanismes de compensation (anomalies tertiaires) vont venir pallier les difficultés des anomalies primaires et secondaires afin de faciliter le déroulement de la marche. La marche devient ainsi progressivement multifactorielle.

Caractéristiques de la marche pathologique (33)

D'un point de vue moteur, la marche est souvent caractérisée par une forte instabilité posturale et une rigidité articulaire due à une spasticité et une ataxie, ou troubles de la coordination des mouvements, importantes.

Selon le type de paralysie cérébrale spastique, différentes classifications de la marche ont été proposées.

La classification de Winter et al. (1987), répertorie l'hémiplégie spastique en quatre profils croissants (Figure 7).

- Le type 1 « drop foot » désigne un défaut de flexion dorsale de cheville en phase oscillante (attaque du pas pied à plat ou sur la pointe du pied).
- Le type 2 « true equinus » étend le défaut de flexion dorsale de cheville à la phase d'appui. Selon la position du genou, on distingue le « true equinus 2 A » avec le genou en position neutre, du « true equinus recurvatum knee 2 B », où le genou est en hyperextension.
- Le type 3 « true equinus / jump knee », associe les défauts de type 2 à une insuffisance de flexion du genou en phase oscillante (compensée par une hyperflexion de hanche, une antéversion du bassin et une augmentation de la lordose lombaire).
- Le type 4 possède en plus un déficit au niveau de la hanche en adduction, rotation interne et en flexion (compensée par une hyperlordose lombaire).

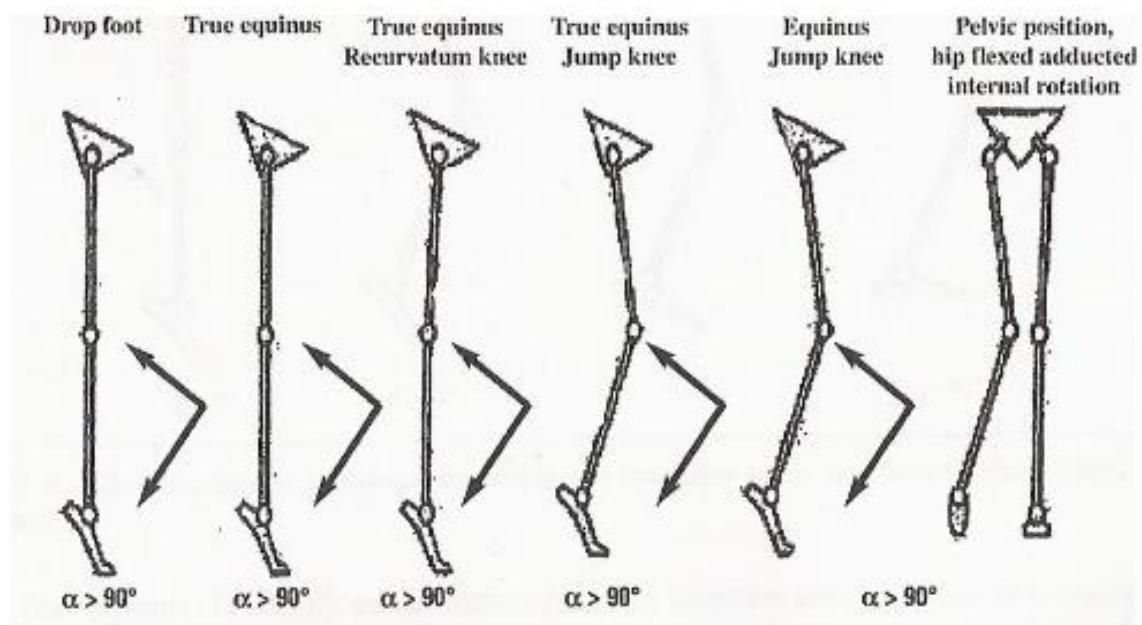


Figure 7: Classification de la marche de l'hémiplégie spastique selon Winters.

La classification de Rodda et Graham (2001 - 2004), concerne la diplégie spastique. Quatre grands profils de marche sont ainsi proposés, dans le plan sagittal, considérant l'ensemble bassin, hanches, genoux et chevilles (*Figure 8*).

- Le type 1 « true equinus » avec une flexion plantaire excessive (angle tibio-tarsien supérieur à 90°).
- Le type 2 « jump knee » associant la flexion plantaire excessive à une hyperflexion des hanches et des genoux (en fin de phase oscillante et pendant la phase précoce de l'appui).
- Le type 3 « apparent equinus » étend la flexion excessive des hanches et des genoux pendant toute la durée de la phase d'appui. La cheville est en position neutre tandis que le bassin peut être également en position neutre ou antéversé.
- Le type 4 « crouch gait » se caractérise par une position en flexion de l'ensemble des articulations du membre inférieur : flexion dorsale excessive de cheville lors de la phase d'appui avec hyperflexion des hanches et des genoux. Le bassin est normal ou rétroversé.

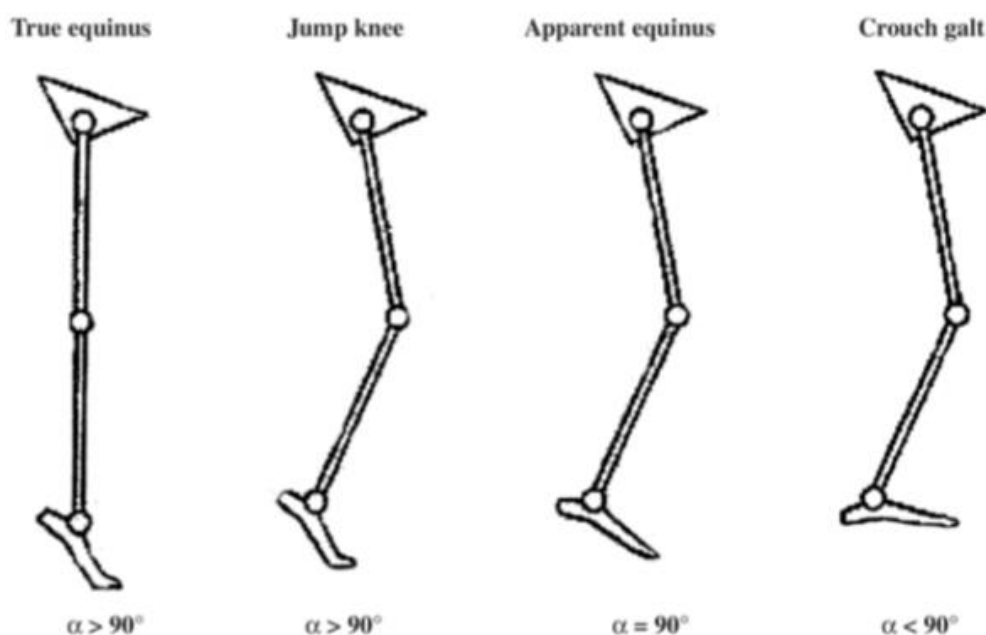


Figure 8: Classification de la marche du diplégique spastique selon Rodda et Graham (2001 - 2004).

Coût énergétique de la marche pathologique (10,34,35)

Ces troubles empêchent donc l'expression d'une motricité harmonieuse et augmentent fortement le coût énergétique.

En effet, 80 à 85% des enfants atteints de paralysie cérébrale ont une consommation d'oxygène et un coût en oxygène (quantité d'oxygène consommée par kilogramme et par mètre parcouru) au-dessus de 2 écarts-types par rapport à la normale.

Schématiquement, la consommation additionnée d'oxygène par rapport à un enfant sain du même âge est la suivante :

- 25% pour le sujet hémiplégique.
- 75% pour le sujet diplégique.
- 105% pour le sujet quadriplégique.

Parallèlement, chez les enfants sains, le taux d'énergie nécessaire à la marche diminue à mesure que l'enfant grandit. Chez les enfants atteints de diplégie spastique, la tendance opposée est observée. L'explication repose sur l'augmentation du poids et de la taille. Les troubles de la motricité, de la spasticité, de l'équilibre et les troubles associés freinent le déplacement efficace du poids ajouté.

Un article du Journal Orthopédique de Pédiatrie, publié par van den Hecke et al. (2007), s'est penché sur l'origine de l'augmentation du coût énergétique de la marche chez les enfants PC hémiplégiques. L'étude montre que cette augmentation est liée à l'augmentation du travail mécanique d'origine musculaire et non à une diminution de l'efficacité de production de travail de ces muscles.

Les outils d'évaluation

Pour évaluer la marche pathologique de l'enfant, l'examen clinique neuromoteur en est la référence centrale (33,36,37). Il comprend :

- Des éléments cliniques, permettant l'évaluation de la spasticité et de la motricité volontaire :
 - Echelle d'Held et Tardieu.
 - Echelle d'Held et Pierrot Desseilligny.
 - Echelle du Contrôle Moteur Sélectif (CMS).
 - Echelle de Boyd.

➤ Des éléments fonctionnels :

- Evaluation Motrice Fonctionnelle Globale (EMFG).
- Physician Rating Scale (PRS) ou Examen de la vidéo de la marche (*Annexe 3*).
- Edinburgh Visual Gait Score (EVGS).
- Index de Dépendance Énergétique (IDE) (*Annexe 3*).
- Score de Gillette.

➤ Des éléments de la qualité de vie, permettant d'évaluer le vécu et le ressenti perçu par l'enfant ou l'adolescent :

- Vécu et Santé Perçue de l'Enfant et de l'Adolescent (VSP-Ae).

A l'examen clinique, s'additionne en général un enregistrement vidéo à laquelle un enregistrement électromyographique (EMG-vidéo) ou une Analyse Quantifiée de la Marche (AQM) sont parfois couplés.

La biomécanique de la marche : Le cycle de marche et ses différentes phases.

L'intermodalité motrice de la marche : De la planification à la commande finale du mouvement.

L'intermodalité sensorielle de la marche :

- Récepteurs sensoriels nécessaires à l'élaboration d'une image cohérente du corps.
- Le schéma corporel postural acquis par l'apprentissage.

La marche de l'enfant : Les caractéristiques de la marche adulte observées autour de l'âge de 7 ans.

Vocabulaire : PC – IMC – IMOC – Polyhandicap.

Etiologies : Prématurité et poids de naissance inférieur à 1,5 kg.

Tableaux cliniques : PC spastique (85% des PC) – PC ataxique – PC dyskinétique – PC mixte – PC bilatérale – PC unilatérale – Déficiences associées – Evaluation déficience motrice (GMFCS).

PC et croissance : L'évolution des troubles neuro-orthopédiques.

Marche pathologique de l'enfant paralysé cérébrale : origines – caractéristiques – coût énergétique – outils d'évaluation (avec entre autres : PRS et IDE).

1.2.2. Les éléments factuels et recommandations

Les éléments factuels

Les thérapeutiques actuelles sur la paralysie cérébrale sont de l'ordre du symptomatique. La prise en charge de l'enfant fait intervenir un ensemble d'acteurs médicaux et para-médicaux ayant pour objectif commun, le maintien ou l'amélioration de la qualité de vie du patient.

Ces objectifs vont varier en fonction de l'âge du patient (*Figure 9*) :

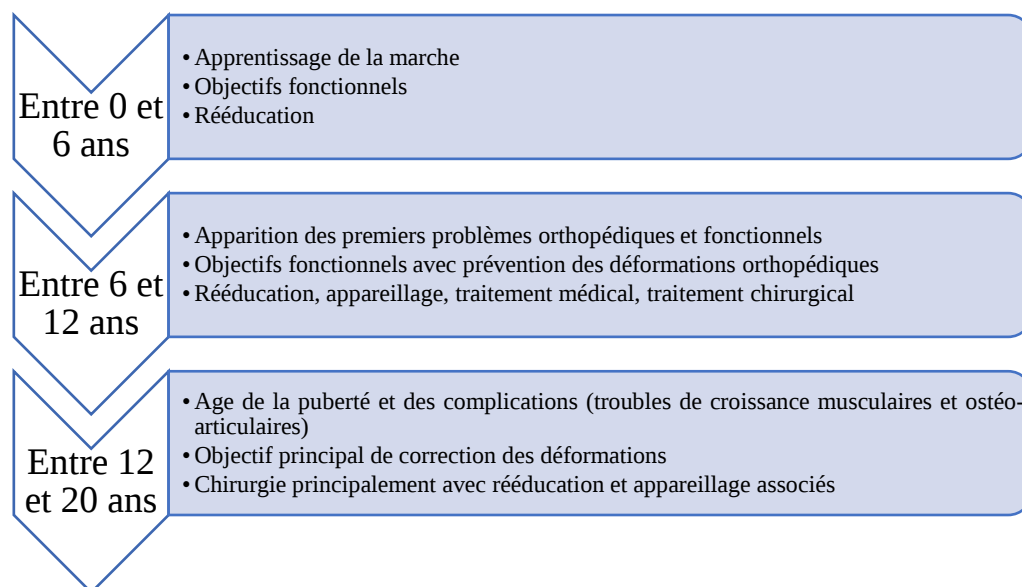


Figure 9: Les objectifs du traitement varient en fonction de l'âge. Source : Cottalorda J, Bourelle S, Chotel F, Dohin B, et al. L'infirme moteur cérébral marchant : de l'annonce du handicap à la prise en charge de l'adulte. Sauramps médical ; 2005 : p.111.

Concernant la marche, les priorités influençant le choix des thérapeutiques sont les suivantes (10) : la vitesse, la morphologie et l'esthétique, l'efficacité, la sécurité ainsi que le coût énergétique.

A cela s'ajoute la prise en compte des critères « facteurs environnementaux » et « facteurs personnels » de la Classification Internationale du Handicap (CIF), développée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (38).

A partir de l'ensemble de ces éléments, pour certains enfants paralysés cérébraux marchants, la priorité repose sur l'acquisition et le maintien d'une marche fonctionnelle d'intérieure. Les déplacements à l'extérieur pouvant être réalisés à l'aide d'un fauteuil.

Cette dissociation du mode de déplacement permet de préserver la marche le plus longtemps possible en conservant les structures articulaires (sujettes à un usage prématuré) et en respectant la fatigabilité de l'enfant.

L'autonomie de l'enfant pourra ainsi être maintenue dans les Activités de la Vie Quotidienne (AVQ) facilitant le travail des aides à domicile lorsqu'elles sont nécessaires (pour la toilette, l'habillage etc.).

La Rééducation

Dans le traitement d'un enfant paralysé cérébrale, la rééducation occupe une place majeure. Considérée comme le traitement de fond du handicap moteur, elle doit être débutée le plus précocement possible (1).

➤ La Kinésithérapie (Tableau IV)

Tableau IV : Les différentes méthodes kinésithérapiques utilisées pour la rééducation des enfants atteints de paralysie cérébrale (liste non exhaustive).

Méthodes analytiques	Méthodes globales
- La mobilisation articulaire passive et active, pour le maintien de la mobilité, pour lutter contre l'ankylose, la spasticité et la douleur. - Les étirements, pour conserver la longueur musculo-tendineuse. - Le renforcement musculaire, pour l'amélioration de la force musculaire et de la fonction.	- La technique de Bobath, ➤ Inhibition des attitudes anormales de postures et de mouvements. ➤ Facilitation des schémas moteurs innés et fondamentaux. ➤ Avec prise en compte des niveaux d'évolution motrice de l'enfant (développés par M. le Métayer). - La technique d'entraînement dirigée vers un but particulier (par apprentissage moteur).

Néanmoins, les méthodes appliquées peinent à démontrer leur efficacité.

Méthodes analytiques :

- *Pour la mobilisation articulaire passive*, la revue systématique de Prabhu R.K.R. et al. (2014) indique qu'aucune conclusion ne peut être effectuée concernant l'efficacité de la mobilisation articulaire passive sur la mobilité, la spasticité ou la douleur. Une efficacité a été trouvée à court terme sur la mobilité mais avec un faible niveau de preuves (39).
- *Pour les étirements*, les conclusions de Harvey L.A. et al regroupées dans une revue Cochrane (2010) s'accordent pour dire que les preuves de l'efficacité de cette technique restent limitées (40).
Néanmoins, Wallen et Stewart (2013) soutiennent que même si l'étude de Harvey L.A. et al. (2010) comporte un haut niveau de preuve, elle n'est pas suffisante pour abandonner les étirements et particulièrement chez les enfants atteints de paralysie cérébrale (41).
- *Pour le renforcement musculaire*, la *Guideline Management Of Cerebral Palsy In Children : A guide For Allied Health Professionals* (2018) indique une absence de données probantes publiées alors que la pratique clinique se poursuit (42). Les preuves sont insuffisantes ou de faible niveau concernant l'amélioration de la fonction. Pour l'amélioration de la force musculaire, un effet à court terme est observé (43).

Méthodes globales :

- Pour la méthode Bobath ou « thérapie neuro-développementale » (TND), Brown et al. (2001) ainsi que Butler et al. (2001) révèlent l'inefficacité de cette technique sur la normalisation des mouvements, sur la prévention des contractures et sur l'amélioration des aptitudes sociales, émotionnelles et cognitives. Les auteurs s'opposent néanmoins concernant l'efficacité de cette technique sur l'amélioration de la fonction mais le niveau de preuve reste faible (Brown et al., 2001 ; Butler et al., 2001 ; Martin et al., 2010) (44–46).
- Pour la méthode d'entraînement dirigée vers un but particulier, la revue systématique de Novak et al. (2013) recommande l'utilisation de cette technique dans les soins classiques des enfants atteints de paralysie cérébrale. En effet, cette revue regroupe les études de Novak et al. (2009), de Sakzewski et al. (2011) et de Wallen et al. (2011), lesquels mettent en évidence l'efficacité de cette technique sur l'amélioration fonctionnelle de l'utilisation des mains et sur l'amélioration de l'auto-traitement (avec un haut niveau de preuve). Une amélioration sur la fonction motrice globale est également trouvée selon Ketelaar et al. (2001) et Lowing et al. (2009) mais avec un faible niveau de preuve (43).

Les recommandations

Hormis des recommandations de bonnes pratiques relatives à la prise en charge de comportements perturbateurs (grade AE) (47), la Haute Autorité de Santé (HAS) ne propose pas d'autres recommandations concernant la rééducation des enfants atteints de paralysie cérébrale.

C'est dans ce contexte que la Fondation Paralysie Cérébrale (1), « seul acteur français de la recherche sur la Paralysie Cérébrale » œuvre d'une part à l'évaluation des besoins et des attentes des patients (avec notamment l'enquête ESPaCe – Enquête Satisfaction Paralysie Cérébrale) et d'autre part au soutien de projets de recherche visant à étayer par un plus haut niveau de preuves scientifiques, notre connaissance dans le domaine de la rééducation motrice ou cognitive de l'enfant paralysé cérébral.

L'enquête ESPaCe, effectuée de juin 2016 à juin 2017 et réunissant 1010 réponses (354 enfants, 145 adolescents, 511 adultes), met en lumière les modalités actuelles de rééducation motrice des personnes atteintes de paralysie cérébrale mais surtout de leurs limites (soins non adaptés aux besoins, thérapeutes non spécialisés, manque de rééducation coordonnée etc).

Suite à cette enquête à échelon national, la Haute Autorité de Santé a inscrit la paralysie cérébrale et sa rééducation au programme de travail 2019. Cette initiative donnera lieu à l'élaboration de bonnes pratiques dont les conclusions sont prévues pour juin 2020.

*« Nous avons tous conscience que cette inscription au programme 2019 de la HAS est une reconnaissance et une étape, ce n'est pas un aboutissement. Il reste beaucoup à faire et avec le soutien des autorités de santé, des professionnels, des sociétés savantes, des accompagnants et des personnes atteintes, nous pourrions transformer l'essai et **faire de 2019, l'année de la recherche sur la paralysie cérébrale !** » déclaration du Docteur Alain Chatelin, Président de la Fondation Paralysie Cérébrale.*

Eléments factuels sur la thérapeutique PC :

- **Objectifs de traitement varient en fonction de l'âge du patient.**
- **Méthodes de rééducation actuelles peinent à démontrer leur efficacité.**

Recommandations :

- **Manque de recommandations de bonnes pratiques concernant la rééducation des patients paralysés cérébraux.**
- **Réelles demandes et besoins de recherches.**
- **2019 : vers l'élaboration de bonnes pratiques et « année de la recherche sur la paralysie cérébrale ».**

1.2.3. Recherche

Afin d'orienter les besoins de recherche, une étude prospective a été menée en 2008 par la Fondation Paralysie Cérébrale. Cette étude réunissant des personnes atteintes, leur entourage, chercheurs, thérapeutes et accompagnants a permis de dégager huit thèmes prioritaires comprenant notamment la douleur ; la compréhension, prévention et réparation de la lésion ; ainsi que la mobilité et l'autonomie (1).

Concernant la prise en charge de l'enfant, la kinésithérapie a un rôle important à jouer, notamment dans les thèmes évoqués ci-dessus. C'est pourquoi, de nouvelles méthodes de rééducation sont actuellement en cours d'évaluation, dont la rééducation intensive (« training »).

Des études récentes rappellent la nécessité d'une rééducation intensive pour améliorer les fonctions motrices de l'enfant. Aisen et al. (2011 (48)) dans la revue *Cerebral Palsy : clinical care and neurological rehabilitation* citent entre autres les études de Smania et al. (2011), Hoare et al. (2007), Gordon et al. (2011) et Taub et al. (2004).

En effet, d'après les avancées en neurosciences, le Système Nerveux Central peut d'avantage faire appel à la plasticité cérébrale durant les phases d'apprentissage que lors des processus de neuro-génèse (48).

La notion de plasticité cérébrale peut se définir comme la capacité du système nerveux à changer sa structure, ses fonctions et ses connexions en réponse à des stimuli extrinsèques ou intrinsèques.

Ainsi, lors d'évènements tels que des Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC) ou des traumatismes, la plasticité permet d'aider la récupération cérébrale. Ce phénomène fait donc l'objet de nombreuses thérapeutiques et d'interventions cliniques (49).

A partir de ces avancées, l'apprentissage moteur basé sur la répétition orientée vers un but particulier est susceptible de promouvoir une meilleure réorganisation des réseaux neuronaux et du développement moteur après une lésion du Système Nerveux Central (50,51).

En parallèle, l'expérience de Rossignol et Barbeau (1987), menée sur le chat spinal adulte (avec section complète de la moelle épinière au niveau du 13^{ème} étage thoracique), a montré que la récupération d'une activité locomotrice était possible par apprentissage moteur à l'aide d'un tapis roulant avec suspension partielle du train arrière (52).

A partir de l'ensemble de ces éléments, des méthodes de rééducation ont vu le jour au cours de ces dernières décennies. Parmi elles, les méthodes de rééducation assistées par robotique (Lokomat® ou encore le ReoAmbulator®), organisées sur des principes d'apprentissage et de réapprentissage sensori-moteurs actifs, sont de plus en plus proposées aux patients paralysés cérébraux.

Ces méthodes de rééducation se basent principalement sur un processus d'automatisation du mouvement cyclique via un travail sur la répétition intensive de ce dernier, réalisé sur tapis roulant avec un allègement corporel par suspension partielle du corps (52,53).

Des priorités de recherche ont été établies par la Fondation Paralysie Cérébrale.

Dans le domaine de la Kinésithérapie, de nouvelles méthodes de rééducation actuellement en cours d'évaluation.

Des études récentes soulignent l'intérêt d'une rééducation intensive sur l'amélioration des fonctions motrices (par sollicitation des capacités de plasticité cérébrale).

La rééducation de la marche de l'enfant PC comprend actuellement des méthodes basées sur un apprentissage et un ré-apprentissage sensori-moteur actifs (méthodes assistées par robotique).

1.3.Problématique

L'état de l'art a permis de mettre en lumière les éléments suivants :

- La marche est une organisation neurophysiologique complexe basée sur un dialogue sensori-moteur constant.
- Les caractéristiques de la marche adulte sont observées autour de l'âge de 7 ans.
- La paralysie cérébrale spastique est la forme la plus courante de paralysie cérébrale.
- Le GMFCS est une échelle d'évaluation permettant de classer les enfants selon l'étendue de leurs capacités motrices.
- La marche pathologique de l'enfant paralysé cérébral trouve son origine dans les anomalies secondaires lesquelles apparaissent entre 6 et 12 ans.
- La marche peut être évaluée d'un point de vue fonctionnel par le PRS et l'IDE.
- Des études récentes appellent à une rééducation basée sur un apprentissage moteur de manière à solliciter les capacités de plasticité cérébrale.
- De nouvelles méthodes de rééducation utilisent cet apprentissage et réapprentissage sensori-moteur.

A partir de l'ensemble de ces éléments, une question clinique, formulée selon le modèle P.I.C.O, se dégage (Tableau V) :

Tableau V : Problématique formulée selon le modèle P.I.C.O.

Critères	Signification	Mots-clés
P	Patient	Enfants atteints de paralysie cérébrale
I	Intervention	Travail de répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur table
C	Comparaison	Prise en charge classique
O	« Outcome » ou critère d'évaluation	Impact fonctionnel

« En plus d'une prise en charge classique, le travail de répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur table améliore-t-il les capacités fonctionnelles des enfants atteints de paralysie cérébrale ».

1^{ère} hypothèse : Le travail de répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur table améliore les capacités fonctionnelles de l'enfant paralysé cérébral.

2^{ème} hypothèse : Aucun impact fonctionnel, du travail de répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur table, n'est observé chez l'enfant paralysé cérébral.

2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Population d'étude

2.1.1. Contexte réglementaire de la recherche

Étude hors loi Jardé

Loi relative aux Recherches, impliquant la Personne Humaine entrée en application le 18 novembre 2016.

Cette étude est une Evaluation des Pratiques Professionnelles. Elle a pour but l'évaluation des techniques en cours dans certains Centres de Rééducation Fonctionnelle comme mentionné à l'article L. 4133-1-1 du Code de la santé publique, elle ne relève donc pas de la loi Jardé au sens de l'article R1121-1 II. 2° du Code de santé publique (54). Les données ont été collectées de manière anonyme avec l'accord des participants qui ont bénéficié d'une information préalable sur la nature des données collectées, l'objectif de l'étude et l'utilisation de ces données. La lettre d'information et le formulaire de consentement sont en *Annexe 4*.

2.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion

Sont inclus dans cette étude, les enfants :

- Atteints de paralysie cérébrale spastique.
- Agés de 7 ans ou plus.

(Cf. 1.2.1.3. Age d'acquisition de la marche adulte : L'ensemble des études concernant le développement de la marche montre qu'une grande partie des caractéristiques de la marche adulte est observée autour de l'âge de 7 ans.)

- Dont le GMFCS entre 6 et 12 ans ne dépasse pas le 3^{ème} niveau.

(Cf. Annexe 2 : Les niveaux 1, 2 et 3 concernent les enfants marchants tandis que les niveaux 4 et 5 s'adressent aux enfants non marchants.)

- Avec une bonne maîtrise du corps en mouvement et une bonne perception du schéma corporel.

(Selon le bilan psychomoteur, l'acquisition de ces deux critères permet la réalisation de l'exercice.)

- Doté de capacité de structuration visuelle, auditive et/ou cutanée.

(Selon les bilans orthoptiste ; orthophoniste et kinésithérapique, pour la compréhension et la réalisation de l'exercice, un guidage est réalisé à l'aide de stimulations visuelles, auditives et cutanées.)

Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion concernent les enfants :

- Atteints de paralysie cérébrale dyskinétique, ataxique ou mixte.
- Opérés d'une Chirurgie Multi-Sites (CMS) entraînant des modifications des paramètres de locomotion et du schéma corporel.
- Dont la présence des troubles intellectuels et/ou cognitifs associés empêche la compréhension et/ou la réalisation de l'exercice.

(Selon le bilan psychologique, l'absence des capacités de compréhension verbale et/ ou de mémoire procédurale, mises en évidence par le WISC-IV, empêche la compréhension des consignes.

Selon le bilan psychomoteur, la sévérité des troubles praxiques empêche la réalisation de l'exercice.)

- Non participatif.
- Avec une douleur à la mobilisation ou à la marche empêchant la réalisation de l'exercice (vérifiée avec l'EVA).

2.2.Méthode

2.2.1. Outils

Critère d'évaluation qualitatif

- Enregistrement vidéo (9)

Le simple examen visuel peut, dans la plupart des cas, être complété par un examen vidéo.

La façon de filmer est maintenant bien codifiée.

Quatre séquences sont nécessaires :

- Marche vue de face.
- Marche vue de dos.
- Profil droit.
- Profil gauche.

L'enregistrement des profils se fait avec une caméra fixe et donc sans effet de déplacement latéral (« traveling »).

Conditions de prise de la vidéo :

- Longueur de la piste de marche d'environ dix mètres.
- Piste de marche délimitée par deux lignes parallèles au sol, espacées d'environ 50cm de large.
- Sur fond neutre.
- Sans contre-jour.

Cet examen permet de façon beaucoup plus précise et fiable, par rapport à une analyse visuelle classique, d'analyser les anomalies à chaque phase du cycle de marche. Une évaluation angulaire est possible même si elle n'a pas la précision des données cinématiques fournies par le laboratoire.

Critères d'évaluation quantitatifs

- Physician Rating Scale (PRS) (36,37)

Cette échelle fonctionnelle quantifiée du membre inférieur est adaptée de la Physicians Rating Scale (Koman modifié Corry, Boyd).

Elle s'applique au handicap neurologique d'origine centrale.

Cet instrument peut être utilisé lors de l'analyse de la marche après enregistrement sur écran vidéo en mode ralenti.

Des items permettent de quantifier l'interrelation entre les positions respectives du genou et de la cheville dans certaines positions.

Dans un article paru dans le Journal d'Orthopédie Pédiatrique (Maathuis et al, 2005), la fiabilité inter et intra-observateur de la Physician Rating Scale et de l'Edinburgh Visual Gait Score a été évaluée.

Cette étude montre une forte fiabilité intra-observateur mais une faible fiabilité inter-observateur pour ces deux tests.

Pour chacun des douze sujets inclus, la réalisation des différents PRS avant/après a donc été effectuée par le promoteur de cette étude.

- Index de Dépense Énergétique (IDE) (5,55–57)

L'évaluation de la dépense énergétique lors de la marche peut être estimée à partir de la Fréquence Cardiaque (FC). Une relation linéaire entre cette FC et la consommation d'oxygène (O₂) est en effet établie (pour des exercices sous-maximaux).

L'index de dépense énergétique est un indice fonctionnel de marche calculé à l'occasion d'une marche à vitesse spontanée, où l'on note la distance exacte parcourue pendant 5 minutes (chronomètres).

Tout individu tend à adopter spontanément la vitesse de marche la plus économique pour lui. Un enfant met 2 à 3 minutes pour atteindre cette vitesse.

La moyenne des FC est enregistrée à l'aide d'un cardio-fréquencemètre. En l'absence de cardio-fréquencemètre ou d'un appareil équivalent, une mesure unique de la FC à la fin de l'exercice peut également être réalisée.

L'IDE, exprimé en battements par mètres, correspond au rapport entre cette Fréquence Cardiaque moyenne (en battements par minute) et la vitesse (en mètres par minute) (Rose et al, 1991).

$$\text{IDE} = \frac{\text{FC moyennée à la 5}^{\text{ème}} \text{ minute (battements/mn)}}{\text{Vitesse de marche m/mn}}$$

Une mesure régulière des IDE renseigne sur l'évolution naturelle de l'endurance de l'enfant dans le temps et en fonction des différentes thérapeutiques. Toute variation de $\pm 0,2 \times \text{IDE}$ de référence est significative (Cristol et Bérard, 1998).

Cette étude permet l'établissement de normes chez l'enfant valide de l'IDE en fonction de l'âge (*Tableau VI*).

Tableau VI : Normes chez l'enfant valide de l'Index de Dépense Énergétique en fonction de l'âge.

Catégorie d'âge	Nombre d'enfants	Valeur moyenne et écart-type
6 ans – 7 ans	20	2,09 ± 0,32
7 ans – 8 ans	17	2,01 ± 0,27
8 ans – 9 ans	19	1,91 ± 0,26
9 ans – 10 ans	19	1,77 ± 0,19
10 ans – 11 ans	19	1,87 ± 0,29
11 ans – 12 ans	25	1,69 ± 0, 25

2.2.2. Protocole

L'étude a été menée du 25 février 2019 au 29 mars 2019. Elle s'est étendue sur 5 semaines, à raison de 3 séances de rééducation par semaine. Les enfants ont donc bénéficié de 15 séances de traitement.

A partir des différents critères énoncés (Cf. 2.1.2. Critères d'inclusion et d'exclusion), 12 enfants ont été inclus dans l'étude, répartis de manière randomisée en 2 groupes distincts :

- Le groupe contrôle composé de 6 sujets (3 garçons et 3 filles).
- Le groupe test composé de 6 sujets (3 garçons et 3 filles).

Quatre sous-groupes ont ensuite été constitués selon le type de paralysie cérébrale spastique

(Tableau VII) :

Tableau VII : Répartition des enfants PC selon le type d'atteinte spastique.

Diplégie	Hémiplégie
- Groupe contrôle composé de 3 sujets (1 garçon et 2 filles). - Groupe test composé de 3 sujets (1 garçon et 2 filles).	- Groupe contrôle composé de 3 sujets (2 garçons et 1 fille). - Groupe test composé de 3 sujets (2 garçons et 1 fille).

Les enfants du groupe contrôle ont bénéficié d'un protocole de « soins classiques » de 45 minutes par séance englobant (Figure 10) :

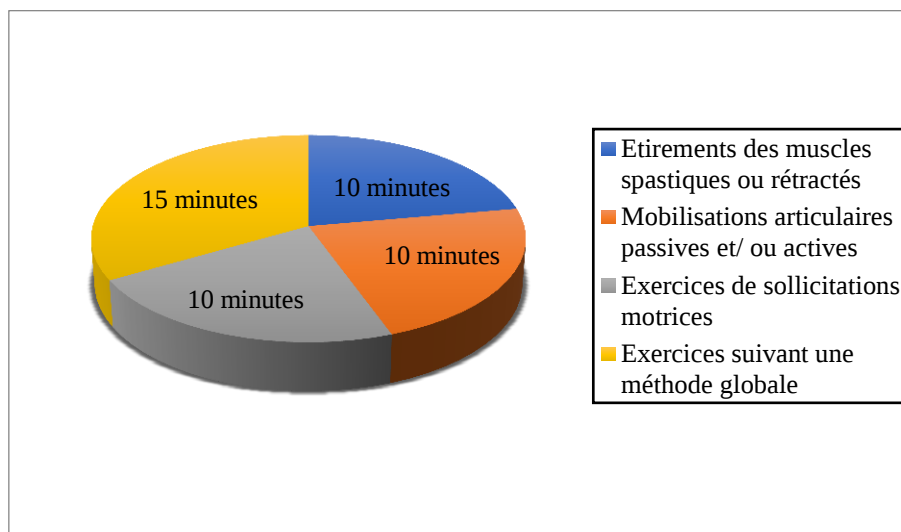


Figure 10: Organisation d'une séance de 45 minutes du groupe contrôle.

Les enfants du groupe test ont bénéficié d'un protocole de « soins classiques » de 35 minutes par séance englobant (Figure 11) :

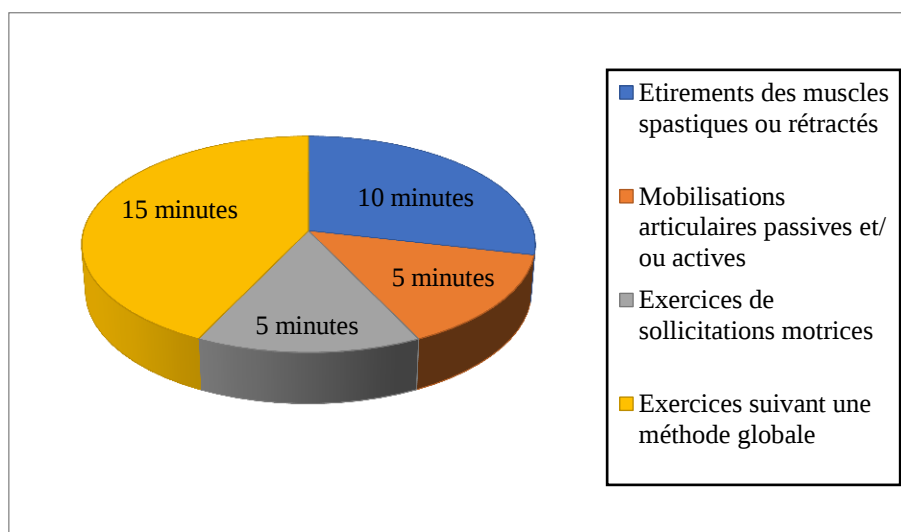


Figure 11: Organisation d'une séance de 35 minutes du groupe test.

A cela, s'ajoute 10 minutes d'exercice de répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur table (Tableau VIII) :

- 5 minutes attribuées à chaque membre inférieur.
- Installation de l'enfant : en décubitus controlatéral, bassin fixé par l'intermédiaire d'une sangle, pieds nus et yeux ouverts.
- Exercice réalisé en « actif-aidé » avec enchaînement successif du pas postérieur et du pas antérieur.

Tableau VIII : Description de la réalisation du pas postérieur et du pas antérieur. Inspirée de la méthode : Facilitation Neuromusculaire Proprioceptive (FNP) ou « Proprioceptive Neuromuscular Facilitation » (PNF).

Pas postérieur	Pas antérieur
Position de départ (Figure 12) : - Hanche en flexion, adduction et rotation externe. - Genou en extension. - Cheville en flexion dorsale, adduction et supination. - Orteils en extension. Ordre verbal : POUSSE. Prises de main : - Main droite (distale) sur la face plantaire du pied droit, au niveau du métacarpe I et de l'hallux. - Main gauche (proximale) sur la face postéro-latérale de l'extrémité caudale de la cuisse. Stimulations : - Coaptation avec la main distale pour augmenter la sollicitation des fléchisseurs plantaires, puis traction pour augmenter la sollicitation des fléchisseurs de genou. - Coaptation avec la main proximale pour augmenter la sollicitation des extenseurs de hanche.  Figure 12: Position de départ du pas postérieur.	Position de départ (Figure 13) : - Hanche en extension, abduction et rotation interne. - Genou en flexion. - Cheville en flexion plantaire, abduction et pronation. - Orteils en flexion. Ordre verbal : TIRE. Prises de main : - Main droite (distale) sur la face dorsale du pied droit au niveau du métacarpe I et de l'hallux. - Main gauche (proximale) sur la face ventro-médiale de l'extrémité caudale de la cuisse. Stimulations : - Traction avec la main distale pour augmenter la sollicitation des fléchisseurs dorsaux, puis coaptation pour augmenter la sollicitation des extenseurs de genou. - Traction avec la main proximale pour augmenter la sollicitation des fléchisseurs de hanche.  Figure 13: Position de départ du pas antérieur.

2.2.3. Traitements statistiques

Le logiciel de traitement des données utilisé est XLSAT 2018 (*Annexe 5*).

Dans un premier temps, l'efficacité de l'exercice sur l'ensemble des patients cérébro-lésés a été évaluée à partir d'un ensemble de données consultable en *Annexe 5*.

Cette évaluation s'est déroulée en deux étapes :

1^{ère} étape : Test de la comparabilité entre le groupe contrôle et le groupe test à l'aide de deux paramètres :

- Les Index de Dépense Energétique initiaux du groupe contrôle et du groupe test (en battements par mètres).
- Les résultats de la Physician Rating Scale initiaux du groupe contrôle et du groupe test (exprimés en pourcentage de la valeur théorique).

Ces deux groupes constituant deux échantillons indépendants composés chacun de 6 sujets (n=6), le test utilisé est celui de Mann-Whitney (test non paramétrique).

2^{ème} étape : Analyse des mêmes paramètres en pré et post-traitement dans chacun des deux groupes :

- Les Index de Dépense Energétique initiaux et finaux (en battements par mètres).
- Les résultats de la Physician Rating Scale initiaux et finaux (exprimés en pourcentage de la valeur théorique).

Etant en présence de deux échantillons appariés composés chacun de 6 sujets (n=6), le test utilisé est celui de Wilcoxon des rangs signés (test non paramétrique).

Dans un deuxième temps, l'évaluation de l'efficacité de l'exercice s'est restreinte aux enfants atteints du même type de paralysie cérébrale spastique.

Quatre sous-groupes ont ainsi été constitués, comprenant :

- Un groupe contrôle et un groupe test des enfants atteints de diplégie spastique.
- Un groupe contrôle et un groupe test des enfants atteints d'hémiplégie spastique.

La même méthode d'évaluation en deux étapes a été appliquée pour chaque catégorie de paralysie cérébrale spastique. Les échantillons étant constitués chacun de 3 sujets (n=3).

Lors de la prise des résultats, les valeurs ont été arrondies au centile près.

2.3.Organigramme matériel et méthode

Afin de donner une vue d'ensemble du matériel et de la méthode appliqués dans cette recherche, un organigramme ou flowchart a été réalisé (Figure 14). Ce dernier regroupe les critères d'inclusion et d'exclusion de la population étudiée, le protocole, les outils utilisés ainsi que les tests appliqués pour les traitements statistiques.

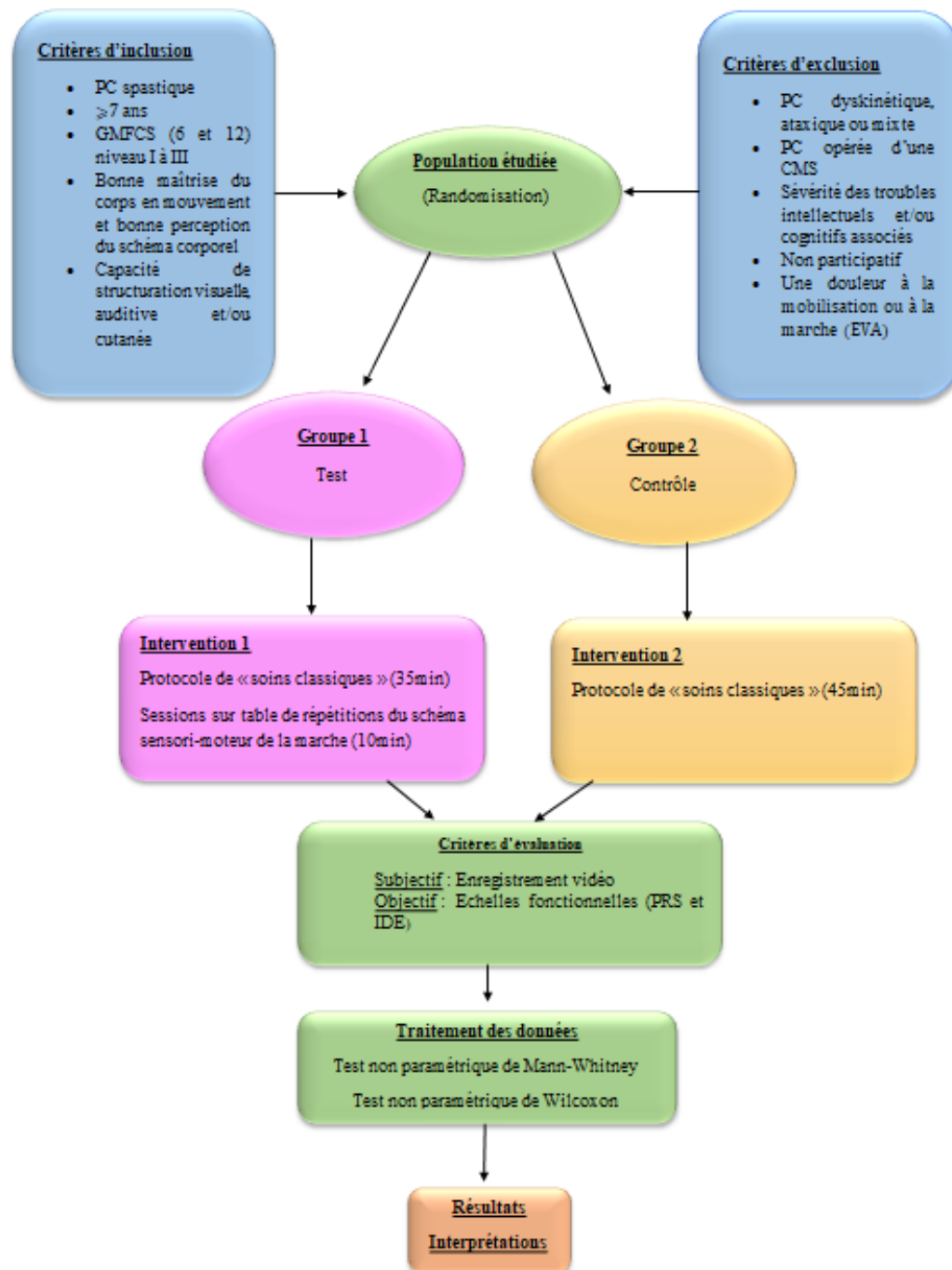


Figure 14: Flow Chart de la place de la répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur les capacités fonctionnelles de l'enfant paralysé cérébral.

3. RESULTATS

3.1. Caractéristiques de la population incluse

Les caractéristiques des patients inclus sont les suivantes (*Tableau IX*) :

Tableau IX : Caractéristiques des patients inclus.

Sujets n	12
Age moyen/ médian (ans)	11,8/12
SEXE	
Féminin	6 (50%)
Masculin	6 (50%)
ATTEINTE MOTRICE	
Hémiplégie	6 (50%)
Hémiplégie droite	4 (33%)
Hémiplégie gauche	2 (17%)
Diplégie	6 (50%)
Diplégie sans prédominance	1 (8%)
Diplégie prédominante à Gauche	4 (33%)
Diplégie prédominante à Droite	1 (8%)
ETIOLOGIE	
Prématurité	4 (33%)
AVC	2 (17%)
Toxoplasmose	2 (17%)
Souffrance fœtale aigue	1 (8%)
Syndrome de Silverman	1 (8%)
Syndrome de West	1 (8%)
Syndrome de Goldberg-Shprintzen	1 (8%)
IMC	
Zone de corpulence normale	11 (92%)
Zone de surpoids	1 (8%)
APPAREILLAGE	
Orthèse suro-pédieuse postérieure	7 (58%)
Articulée	6 (50%)
Non articulée	1 (8%)
Orthèse suro-pédieuse antérieure	1 (8%)
Chaussure orthopédique	1 (8%)
Casque de protection	2 (17%)
Pas d'appareillage	1 (8%)
AIDES TECHNIQUES	
Kay Walker	3 (25%)
Pas d'aide technique	9 (75%)
NIVEAU GMFCS	
I	9 (75%)
III	3 (25%)

3.2.Résultats chez les enfants cérébro-lésés

Comparaison entre le groupe contrôle et le groupe test :

Les résultats initiaux de l'échelle Physician Rating Scale entre le groupe contrôle et le groupe test mettent en évidence (Figure 15):

- Une différence entre les valeurs centrées (médiane de 47,5 et moyenne de 50,33 dans le groupe contrôle ; médiane de 63,5 et moyenne de 62,67 dans le groupe test).
- Une différence entre les valeurs de dispersion (écart-type de 21,30, étendue de 54 et intervalle interquartile de 30,5 pour le groupe contrôle ; écart-type de 12,96, étendue de 32 et intervalle interquartile de 19).

Les résultats initiaux de l'Index de Dépense Énergétique entre le groupe contrôle et le groupe test mettent en évidence (Figure 16):

- Une différence entre les valeurs centrées (médiane de 2,53 et moyenne de 2,96 dans le groupe contrôle ; médiane de 2,16 et moyenne de 2,95 dans le groupe test).
- Une différence entre les valeurs de dispersion (écart-type de 1,69, étendue de 4,53 et intervalle interquartile de 1,61 pour le groupe contrôle ; écart-type de 2,98, étendue de 8,04 et intervalle interquartile de 0,69).

Néanmoins, le test de Mann-Whitney montre **l'absence de différence significative** entre le groupe contrôle et le groupe test (H_a rejetée et H_0 retenue, avec respectivement $p = 0,329$ pour les PRS initiaux et $p = 0,394$ pour les IDE initiaux donc dans les deux cas, $p > 0,05$).

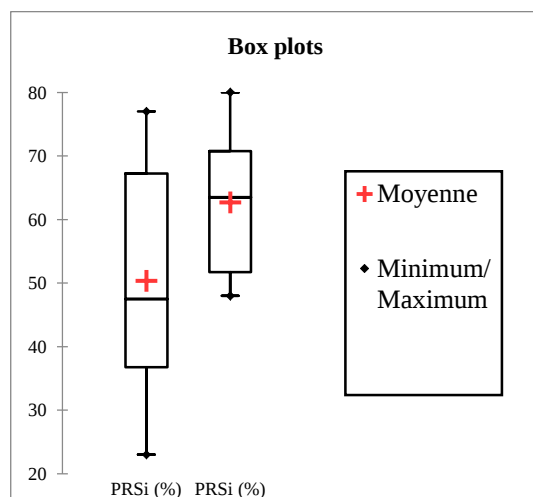


Figure 15: Visualisation des valeurs des PRS initiaux par "boîte à moustaches".

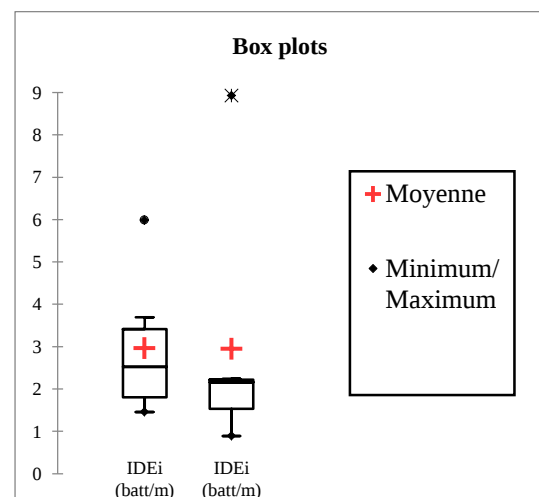


Figure 16: Visualisation des valeurs des IDE initiaux par "boîte à moustaches".

Résultats dans le groupe contrôle :

Les moyennes et les écart-types avant/après des résultats de l'échelle Physician Rating Scale et de l'Index de Dépense Énergétique mettent en évidence :

- Aucun changement concernant la biomécanique de la marche de l'enfant (moyenne de 50,33 initiale et finale ; écart type de 21,3 initiale et finale) (Figure 17).
- Une amélioration du coût énergétique de cette marche (moyenne initiale de 2,96 et écart-type de 1,69 ; moyenne finale de 2,04 et écart-type de 1,07) (Figure 18).

Le test de Wilcoxon signé montre, d'une part, **l'absence d'amélioration significative** de la biomécanique de la marche (H_a rejetée et H_0 retenue, avec $p = 1$ donc, $p > 0,05$).

D'autre part, ce test montre **une amélioration significative** du coût énergétique de la marche après 15 séances de rééducation suivant le protocole « soins classiques » (H_0 rejetée et H_a retenue, avec $p = 0,031$ donc, $p < 0,05$).

La différence de moyennes s'élève à : $\text{delta moyenne} = |0,92|$.

Cependant, aucune variation de $\pm 0,2 \times \text{IDE}$ de référence n'a été observée sur l'ensemble de ces données (Cristol et Bérard, 1998) (56).

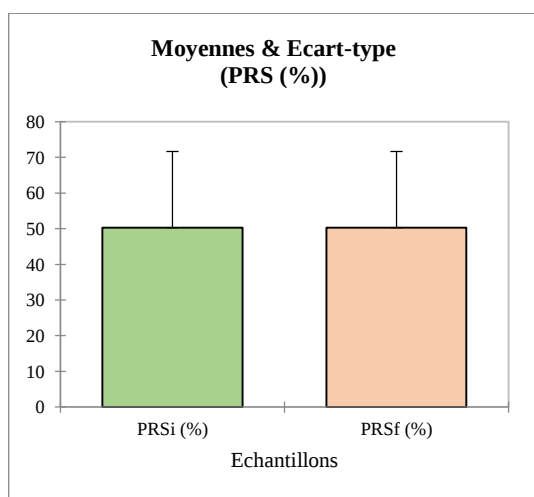


Figure 17: Visualisation des valeurs des PRS pré et post-traitement par histogramme.

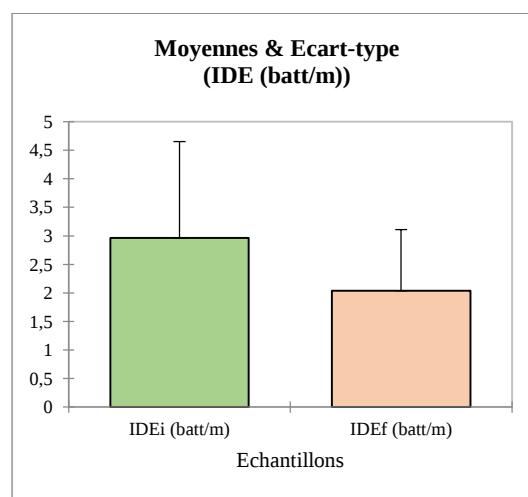


Figure 18: Visualisation des valeurs des IDE pré et post-traitement par histogramme.

Résultats dans le groupe test :

Les moyennes et les écart-types avant/après des résultats de l'échelle Physician Rating Scale et de l'Index de Dépense Énergétique mettent en évidence :

- Une amélioration concernant la biomécanique de la marche de l'enfant (moyenne initiale de 62,67 et écart-type de 12,96 ; moyenne finale de 67,17 et écart-type de 11,09) (*Figure 19*).
- Une amélioration du coût énergétique de cette marche (moyenne initiale de 2,95 et écart-type de 2,98 ; moyenne finale de 1,15 et écart-type de 0,56) (*Figure 20*).

Le test de Wilcoxon signé montre **une amélioration significative** de la biomécanique de la marche et de son coût énergétique après 15 séances de rééducation suivant le protocole « soins classiques » associé à l'exercice de répétition du schéma sensori-moteur de la marche (H0 rejetée et Ha retenue, avec respectivement $p=0,041$ pour le PRS et $p=0,031$ pour l'IDE donc dans les deux cas, $p<0,05$).

La différence de moyennes pour le PRS s'élève à : delta moyenne = |4,5|. La différence de moyennes pour l'IDE s'élève à : delta moyenne = |1,8|. Les feuillets de calculs sont consultables en *Annexe 6*.

Cependant, aucune variation de $\pm 0,2 \times \text{IDE}$ de référence n'a été observée sur l'ensemble de ces données (Cristol et Bérard, 1998) (56).

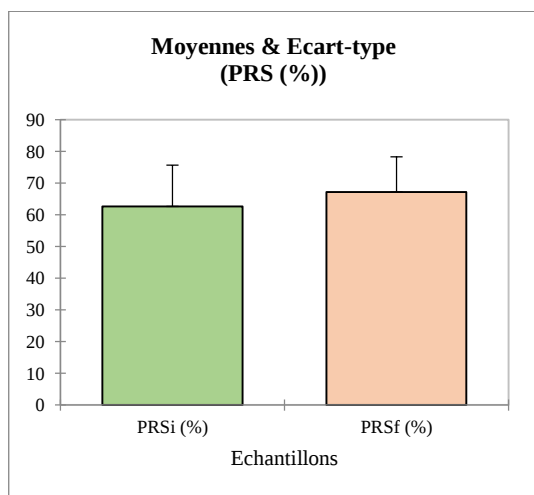


Figure 19: Visualisation des valeurs des PRS pré et post-traitement par histogramme.

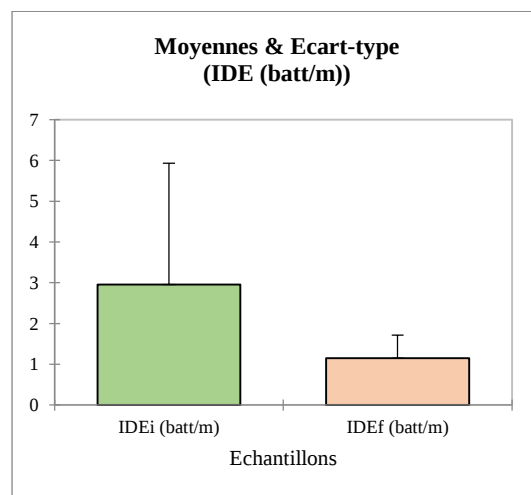


Figure 20: Visualisation des valeurs des IDE pré et post-traitement par histogramme.

3.3.Résultats chez les enfants diplégiques et chez les enfants hémiplésiques

Comparaison entre le groupe contrôle et le groupe test (Tableaux X et XI) :

Tableau X : Résultats initiaux de l'échelle Physician Rating Scale.

	Enfants diplégiques (Figure 21)		Enfants hémiplésiques (Figure 22)	
	Groupe contrôle	Groupe test	Groupe contrôle	Groupe test
Valeurs centrées	Médiane : 34 Moyenne : 34	Médiane : 73 Moyenne : 72,33	Médiane : 73 Moyenne : 66,67	Médiane : 48 Moyenne : 53
Valeurs de dispersion	Ecart-type : 11 Etendue : 22 Intervalle interquartile : 11	Ecart-type : 8,02 Etendue : 16 Intervalle interquartile : 8	Ecart-type : 14,57 Etendue : 27 Intervalle interquartile : 13,5	Ecart-type : 8,66 Etendue : 15 Intervalle interquartile : 7,5
Test de Mann-Whitney	Absence de différence significative p= 0,1		Absence de différence significative p=0,2	

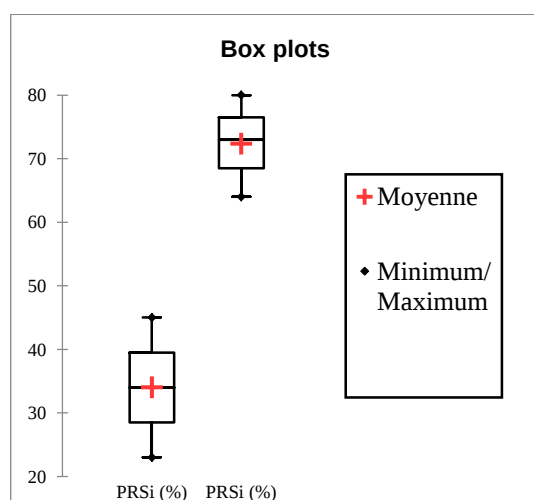


Figure 21: Visualisation des valeurs des PRS initiaux par "boîte à moustaches" chez les enfants diplégiques.

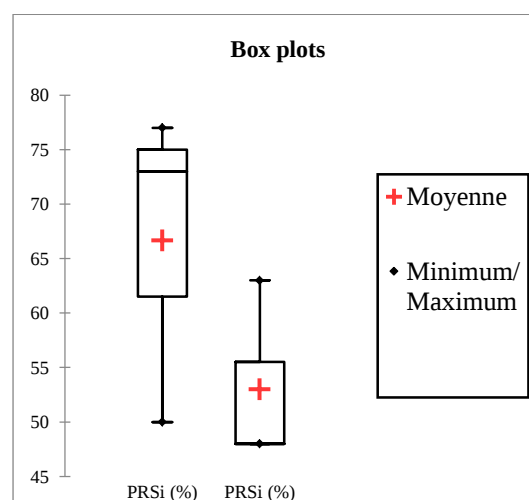


Figure 22: Visualisation des valeurs des PRS initiaux par "boîte à moustaches" chez les enfants hémiplésiques.

Tableau XI : Résultats initiaux de l'Index de Dépense Énergétique.

	Enfants diplégiques (Figure 23)		Enfants hémiplegiques (Figure 24)	
	Groupe contrôle	Groupe test	Groupe contrôle	Groupe test
Valeurs centrées	Médiane : 3,69 Moyenne : 3,71	Médiane : 1,33 Moyenne : 1,49	Médiane : 2,47 Moyenne : 2,21	Médiane : 2,17 Moyenne : 4,42
Valeurs de dispersion	Ecart-type : 2,27 Etendue : 4,53 Intervalle interquartile : 2,27	Ecart-type : 0,69 Etendue : 1,35 Intervalle interquartile : 0,68	Ecart-type : 0,55 Etendue : 1 Intervalle interquartile : 0,5	Ecart-type : 3,91 Etendue : 6,78 Intervalle interquartile : 3,39
Test de Mann-Whitney	Absence de différence significative p= 0,2		Absence de différence significative p=1	

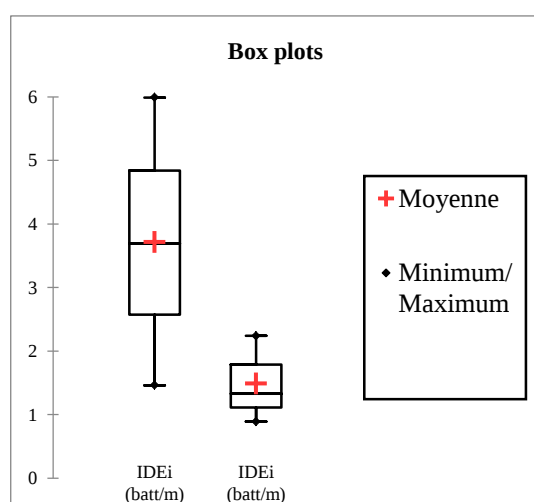


Figure 23: Visualisation des valeurs des IDE initiaux par "boîte à moustaches" chez les enfants diplégiques.

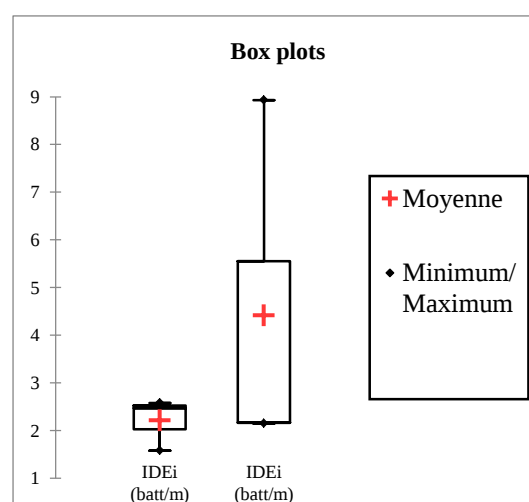


Figure 24: Visualisation des valeurs des IDE initiaux par "boîte à moustaches" chez les enfants hémiplegiques.

Analyse pré et post-traitement de l'échelle Physician Rating Scale et de l'Index de Dépense Energétique
(Tableaux XII et XIII) :

Tableau XII : Résultats initiaux et finaux de l'échelle Physician Rating Scale.

	Enfants diplégiques				Enfants hémiplegiques			
	Groupe contrôle (Figure 25)		Groupe test (Figure 26)		Groupe contrôle (Figure 27)		Groupe test (Figure 28)	
Résultats Initiaux : I Finaux : F	I	F	I	F	I	F	I	F
Moyennes	34	34	72,33	75	66,67	66,67	53	59,33
Différence de moyennes	0		2,67		0		6,33	
Ecart-types	11	11	8,02	8,19	14,57	14,57	8,66	7,51
Test de Wilcoxon	Absence d'amélioration significative p= 1		Absence d'amélioration significative p= 0,157		Absence d'amélioration significative p=1		Absence d'amélioration significative p=0,102	

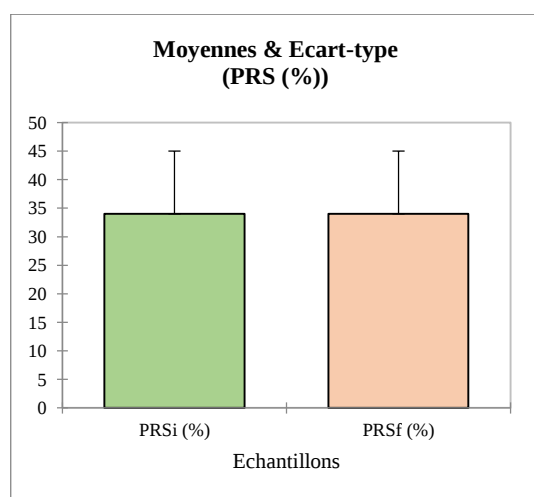


Figure 25: Visualisation des valeurs des PRS pré et post-traitement par histogramme chez les enfants diplégiques du groupe contrôle.

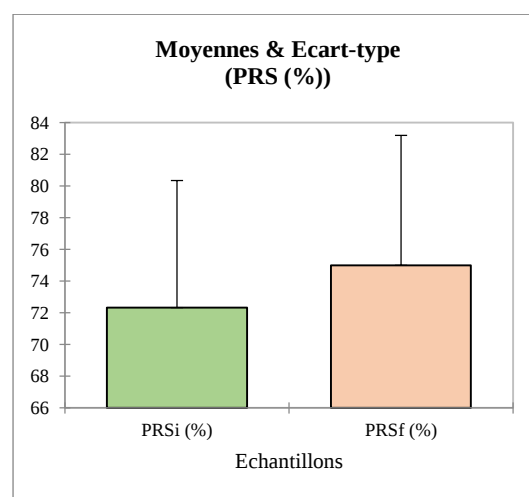


Figure 26: Visualisation des valeurs des PRS pré et post-traitement par histogramme chez les enfants diplégiques du groupe test.

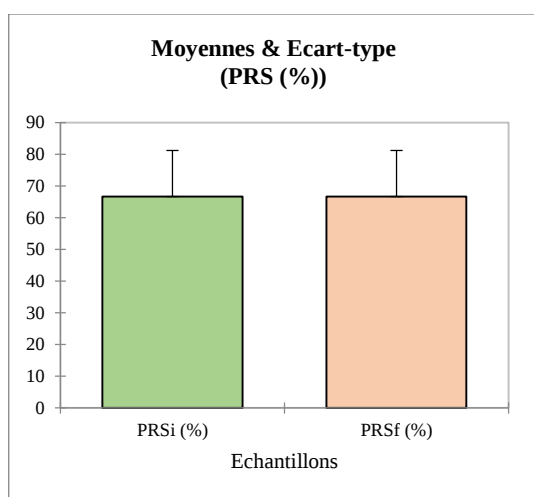


Figure 27: Visualisation des valeurs des PRS pré et post-traitement par histogramme chez les enfants hémiplésiques du groupe contrôle.

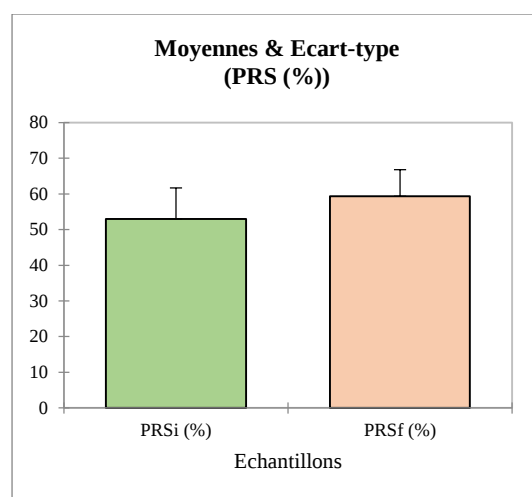


Figure 28: Visualisation des valeurs des PRS pré et post-traitement par histogramme chez les enfants hémiplésiques du groupe test.

Tableau XIII : Résultats initiaux et finaux de l'Index de Dépense Énergétique.

	Enfants diploésiques				Enfants hémiploésiques			
	Groupe contrôle (Figure 29)		Groupe test (Figure 30)		Groupe contrôle (Figure 31)		Groupe test (Figure 32)	
Résultats Initiaux : I Finaux : F	I	F	I	F	I	F	I	F
Moyennes	3,71	2,5	1,49	0,85	2,21	1,58	4,42	1,46
Différence de moyennes	1,21		0,64		0,63		2,96	
Ecart-types	2,27	1,43	0,69	0,15	0,55	0,45	3,91	0,7
Test de Wilcoxon	Absence d'amélioration significative p= 0,25		Absence d'amélioration significative p= 0,25		Absence d'amélioration significative p=0,25		Absence d'amélioration significative p=0,25	

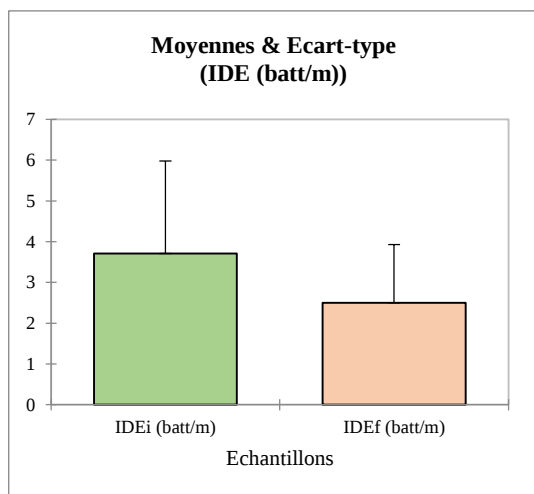


Figure 29: Visualisation des valeurs des IDE pré et post-traitement par histogramme chez les enfants diploégiques du groupe contrôle.

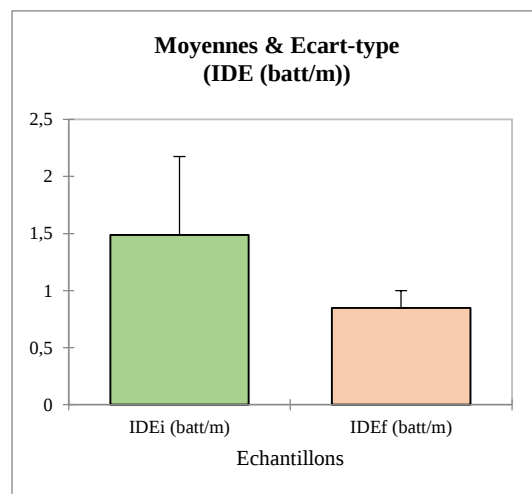


Figure 30: Visualisation des valeurs des IDE pré et post-traitement par histogramme chez les enfants diploégiques du groupe test.

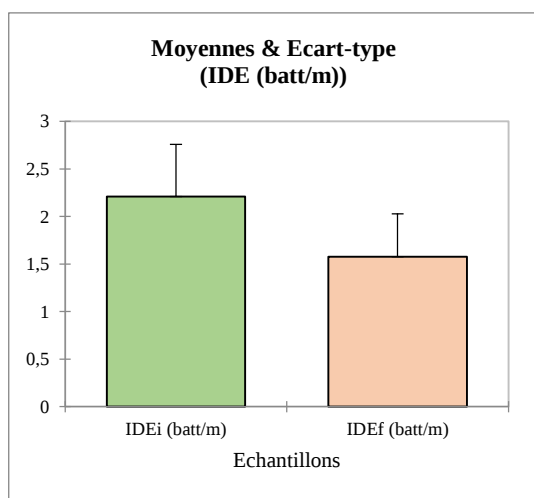


Figure 31: Visualisation des valeurs des IDE pré et post-traitement par histogramme chez les enfants hémiploégiques du groupe contrôle.

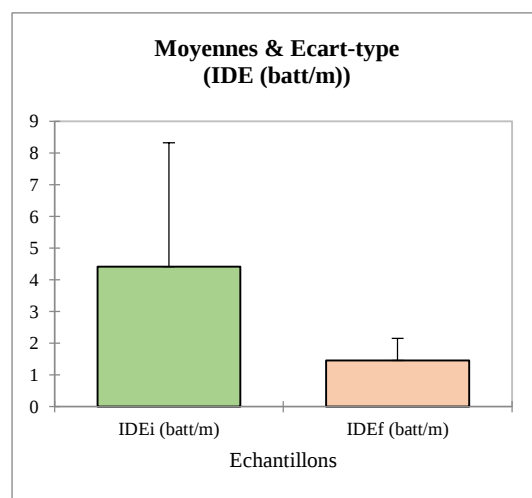


Figure 32: Visualisation des valeurs des IDE pré et post-traitement par histogramme chez les enfants hémiploégiques du groupe test.

4. DISCUSSION

4.1. Résultats à la lumière de la problématique

Cette recherche est, à notre connaissance, la première à évaluer l'efficacité fonctionnelle d'un exercice de répétition du schéma de marche sur table chez des sujets cérébro-lésés.

Les résultats obtenus au cours de cette étude mettent en évidence, dans un premier temps, la possibilité de comparer l'ensemble des enfants diplégiques et hémiplegiques (absence de différence significative avec le test de Mann-Whitney).

Dans cet échantillon, l'exercice se révèle efficace sur la biomécanique de la marche (amélioration significative dans le groupe test, aucun changement n'est observé dans le groupe contrôle).

Concernant le coût énergétique, une diminution significative de la dépense énergétique est observée dans les deux groupes. Néanmoins, la différence de moyennes met en évidence une diminution plus importante chez les enfants ayant bénéficié de l'exercice sur table.

Dans un deuxième temps, les enfants atteints de diplégie spastique ont été séparés des enfants atteints d'hémiplegie spastique.

Les résultats montrent alors, la possibilité de comparer les enfants diplégiques d'une part et de comparer les enfants hémiplegiques d'autre part.

En dépit d'une amélioration observée par les différences de moyennes pour la biomécanique de la marche des deux groupes tests et du coût énergétique chez les enfants hémiplegiques du groupe test, cette amélioration reste non significative dans chacun des groupes.

Lors de la restriction de l'évaluation de l'exercice aux enfants atteints du même type de paralysie cérébrale spastique, aucune possibilité de conclusion sur l'efficacité n'est possible.

L'ensemble de ces résultats est toutefois à tempérer. Cette étude présentant une faible puissance statistique, le risque d'avoir accepté une hypothèse alors que celle-ci est fausse, est grand.

D'autres limites sont également apparues au cours de cette étude, notamment sur l'application des différents protocoles.

La durée des protocoles étant identique à la durée des séances kinésithérapiques, différents facteurs (retards, temps de chaussage/ déchaussage, capacités de concentration de l'enfant etc.) ont réduit le temps des séances.

La difficulté à tenir la position sur le côté pour certains patients, le faible aspect ludique et la fatigabilité que présente cet exercice sont autant d'éléments perturbant sa réalisation.

4.2.Résultats à la lumière de la littérature

Lors de cette recherche, nous avons réduit l'évaluation de la marche aux membres inférieurs. Néanmoins, le corps étant un système pluri-articulé, les membres inférieurs interagissent avec les membres supérieurs, le tronc et la tête pour permettre la construction globale de la marche. En découle, une réelle coordination permettant le mouvement mais également les ajustements posturaux nécessaires au contrôle de l'équilibre (Bruijn et al, 2010 ; Cappozzo, 1981 ; Massion, 1992) (11,58,59).

Une revue systématique, publiée dans le journal international des neurosciences du développement (Izadi-Najafabadi et al., 2019 (60)), a cherché à mettre en évidence l'impact de la réhabilitation sur la plasticité cérébrale, quantifié par Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), chez les enfants atteints de troubles du développement. Dans la plupart des études (comportant en moyenne 54,81 heures d'intervention), des changements cérébraux ont été observés mais une plus forte intensité ou une durée plus étendue des différentes interventions est requise pour solliciter les capacités de plasticité des différentes connexions synaptiques.

Dans cette optique, une des limites de cette étude repose sur la durée d'application du protocole ne permettant pas l'application des capacités de plasticité cérébrale (durée totale de 11,25 heures comprenant 15 séances de 45 minutes).

Par ailleurs, l'état de l'art sur les techniques kinésithérapiques employées (Cf. 1.2.2. Les éléments factuels et recommandations) met en évidence une discordance entre l'absence de données probantes et la pratique clinique effectuée.

L'apprentissage moteur basé sur la répétition orientée vers un but particulier se dégage néanmoins des autres techniques et entre dans le cadre de la rééducation intensive énoncée par Aisen et al. (2011) (48).

Les méthodes de rééducation assistées par robotique s'organisent sur ce concept d'apprentissage et de ré-apprentissage sensori-moteur. Se basant sur les mêmes principes, cet exercice sur table y trouve son origine.

De nombreuses études utilisant le Lokomat® pédiatrique ont montré une amélioration significative de la rééducation robotisée sur les paramètres locomoteurs (fréquence de marche, longueur des pas, amplitudes articulaires notamment dans le plan sagittal etc) (7).

Parmi elles, les études de Meyer-Heim et al. (2009), de Borggraefe et al. (2010) et de Klobucka et al. (2013) utilisent des protocoles expérimentaux similaires (61–63) (*Tableau XIV*).

Tableau XIV : Récapitulatif de la méthodologie et des résultats principaux d'études sur la rééducation robotisée par Lokomat®.

Auteurs et date	Sujets	Séances	Durée des séances	Résultats principaux
Meyer-Heim et al., 2009	22 enfants (moyenne d'âge : 8,6 ans) Diplégie spastique GMFCS II à IV	3-5 semaines 3-5 séances/semaine	45-60 minutes de marche	Amélioration significative du score EMFG- 66 item D (station debout) et de la vitesse de marche moyenne Amélioration non significative du score EMFG-66 item E (marche, course et saut) et du test de marche de 6 minutes (TDM 6)
Borggraefe et al., 2010	20 enfants (11± 5,1 ans) Diplégie spastique Etiologie : prématurité GMFCS I à IV	3 semaines 4 séances/semaine	35 minutes de marche	Amélioration significative des scores EMFG D et E
Klobucka et al., 2013	51 enfants (10 ± 5,6ans) Diplégie spastique GMFCS I à IV	5-6 semaines 3-5 séances/semaine	30 minutes de marche	Amélioration significative des scores EMFG A (couché et retournements), B (position assise), C (quatre pattes et à genoux), D et E, de la vitesse maximale de marche et du TDM 6

De manière globale, les données de la littérature précises que cette rééducation robotisée de la marche s'inscrit en complémentarité des techniques de rééducation classiques.

Les études présentées mettent en évidence les limites de la méthodologie utilisée : un nombre faible de patients inclus, la nécessité de séparer les enfants diplégiques des enfants hémiplégiques ainsi qu'un temps d'application de l'exercice très court à chaque séance (10 minutes contre un minimum de 30 minutes de marche sur Lokomat® dans les études énoncées).

4.3. Perspectives et pistes de poursuite

Lors du choix des critères d'inclusion et d'exclusion, ont été choisis les enfants atteints de paralysie cérébrale spastique sans précision de son étiologie, du niveau de GMFCS et de sa forme topographique.

Dans un second temps, le type de paralysie cérébrale a été spécifié de manière à permettre une meilleure comparaison. Par conséquent, le nombre d'enfants inclus dans chaque groupe a diminué.

Inclure dans ces choix une seule cause de paralysie cérébrale et séparer les enfants possédant un GMFCS « léger » (niveaux I à II) des enfants avec un GMFCS « modéré » (niveaux III à IV) permettrait de hausser davantage le degré de comparabilité entre les différents participants de l'étude.

Concernant les critères d'évaluation, ceux-ci ayant été effectués par le promoteur de cette étude, ils peuvent faire l'objet d'un biais de raisonnement. La réalisation de ces tests par un investigateur constituerait une piste d'amélioration.

De plus, l'échelle PRS considère la marche dans le plan sagittal principalement. Comparativement, l'échelle Edinburgh Visual Gait Score (EVGS), développée par Read et al. en 1998 et renommée en 2002, évalue de manière plus systématique et étendue la marche (37).

Pour la réalisation de l'IDE, l'utilisation d'un cardio-fréquencemètre avec la prise moyennée de la Fréquence Cardiaque augmenterait le niveau de précision des résultats obtenus comparativement à une mesure unique de la FC à la fin de l'exercice (5).

Des questions posées aux enfants avant/après l'étude sur le ressenti de la marche en général et sur la fatigabilité qu'elle provoque complèteraient ces outils d'un point de vue subjectif.

En outre, ces critères d'évaluation se focalisent sur l'aspect biomécanique et énergétique de la marche. Une perspective potentielle serait de comparer l'efficacité de cet exercice à l'efficacité des méthodes assistées par robotique.

Cependant, comme mentionné précédemment (Cf. 4.2. Résultats à la lumière de la littérature), les critères d'évaluation diffèrent. Remplacer le PRS et l'IDE par un EMFG-66 (Evaluation Motrice Fonctionnelle Globale-66 ou « Gross Motor Function Measure-66 » (GMFM-66)) et un TDM6 (Test De Marche de 6 minutes) permettrait la comparaison de ces deux méthodes de rééducation à la marche.

Les résultats ont été obtenus après 15 séances de kinésithérapie. Augmenter le nombre de séances, voire étaler les séances tout au long de l'année, permettrait de solliciter davantage de zones cérébrales lors de cette rééducation répétitive du cycle de marche.

L'une des principales limites de cette étude concerne l'échantillon de patients inclus. Ce faible effectif n'est pas représentatif de la population globale des enfants atteints de paralysie cérébrale mais probablement plus d'une population type de centre spécialisé en neuro-pédiatrie.

En piste de poursuites, la réalisation d'une étude multicentrique sur plusieurs mois ou sur une année augmenterait la puissance statistique et permettrait de conclure significativement sur l'amélioration des capacités fonctionnelles de l'enfant cérébro-lésé après l'application de l'exercice évalué.

En se référant aux différentes cartographies cérébrales déjà établies (le simiunculus de Woosley, 1947 et l'homonculus de Penfield, 1937) (64,65), coupler les critères d'évaluation avec des données issues d'IRM fonctionnelle (technique d'IRM mesurant indirectement l'activité cérébrale en détectant les variations régionales du taux d'oxygène dans le sang au cours d'une tâche (60)) apporterait des informations sur les zones cérébrales activées lors de la réalisation de cet exercice. Ces données permettraient de visualiser les effets réels de cette répétition du cycle de marche sur table et son impact sur les capacités de plasticité cérébrale.

CONCLUSION

Avec le développement de nouvelles technologies telles que la robotique, la rééducation de la marche chez les enfants atteints de paralysie cérébrale revient progressivement à l'ordre du jour.

Se basant sur les principes d'apprentissage sensori-moteur, cette rééducation, par sa répétition, tend à solliciter les capacités de plasticité cérébrale.

Dans cette optique, un exercice de répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur table a été évalué.

Cet exercice se révèle efficace sur les capacités fonctionnelles de l'enfant cérébro-lésé lorsque le type de paralysie spastique n'est pas précisé.

Néanmoins les diverses limites énoncées nuancent ces propos.

Des pistes de poursuite se sont progressivement dégagées, lesquelles permettraient de statuer sur l'efficacité réelle de cet exercice.

Des investigations futures pourraient être entreprises dans plusieurs instituts neuro-pédiatriques prenant en compte les améliorations potentielles du protocole avec notamment la sélection d'un seul type de PC spastique et un plus grand nombre d'enfants inclus.

En outre, dans l'hypothèse d'une amélioration significative des capacités fonctionnelles de l'enfant liée à la réalisation de cet exercice, une comparaison entre l'efficacité de cette technique et l'efficacité des méthodes assistées par robotique viserait à étayer la réflexion sur l'utilité de cette méthode.

En 2017, seulement 24 centres bénéficiaient de Lokomat® en France et peu d'entre eux étaient spécialisés en pédiatrie. Cet exercice, reproductible et peu coûteux, pourrait ainsi s'inscrire en complémentarité des exosquelettes permettant une prise en charge globale de l'enfant, de l'établissement de santé jusqu'au domicile.

D'un point de vue personnel, la réalisation de cette étude, au sein de l'IEM Antoine de Saint-Exupéry, m'a permis de diversifier et d'améliorer ma prise en charge masso-kinésithérapique des patients atteints de PC et plus particulièrement dans la rééducation neuro-motrice et l'analyse de la marche.

Ce mémoire m'a permis d'avoir une vision plus approfondie sur la recherche et sur la démarche scientifique. La recherche d'études et d'articles récents sur les pathologies et sur la rééducation correspondante constitueront désormais une part importante de ma pratique future.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. La Fondation Paralysie Cérébrale : Recherche sur la paralysie cérébrale [Internet]. 2017 [cité 15 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.fondationparalysiecerebrale.org/>
2. Ancel P-Y, Marret S, Molénat F, Triomphe A, Collectif. Déficiences et handicaps d'origine périnatale : dépistage et prise en charge. Inserm. 2004. 376 p.
3. Rosenbaum P, Paneth N, Leviton A, Goldstein M, Bax M. The Definition and Classification of Cerebral Palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2006;49(s109):1-44.
4. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe [Internet]. 2018 [cité 16 sept 2018]. Disponible sur: <http://www.scpnetwork.eu/>
5. Bérard C. La paralysie cérébrale de l'enfant : Guide de la consultation examen neuro-orthopédique du tronc et des membres inférieurs. 2e édition. Montpellier: Sauramps médical; 2010. 265 p.
6. Dziri S, Mrabet A, Ben Salah FZ, Miri I, Dziri C. Évaluation de la marche dans la paralysie cérébrale de l'enfant. *Motricité Cérébrale : Réadaptation, Neurologie du Développement*. 2017;38(1):34-8.
7. Wallard L. Étude de la marche avant et après une rééducation robotisée chez des enfants présentant des troubles locomoteurs. 2014;155.
8. Kinésithérapie : Etymologie de Kinésithérapie [Internet]. 2012 [cité 16 sept 2018]. Disponible sur: <http://www.cnrtl.fr/etymologie/kinesitherapie>
9. Penneçot G-F. Marche pathologique de l'enfant paralysé cérébral. Sauramps Eds. 2009. 333 p.
10. Dimeglio A, Hérisson Ch, Simon L. La marche de l'enfant. Sauramps médical. 2002. 256 p.
11. Massion J. Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*. janv 1992;38(1):35-56.
12. Bouisset S, Zattara M. A sequence of postural movements precedes voluntary movement. *Neuroscience Letters*. 1981;22(3):263-70.
13. Paillard T, Collectif. Posture et équilibration humaines. De Boeck Supérieur; 2016. 260 p.
14. Bouisset S, Zattara M. Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *Journal of Biomechanics*. 1987;20(8):735-42.
15. Knikou M. Neural control of locomotion and training-induced plasticity after spinal and cerebral lesions. *Clin Neurophysiol*. 2010;121(10):1655-68.
16. Barthélemy D, Grey MJ, Nielsen JB, Bouyer L. Involvement of the corticospinal tract in the control of human gait. *Prog Brain Res*. 2011;192:181-97.
17. Vitte E, Chevalier J-M. Neuro-anatomie. 2e édition. Médecine-Sciences Flammarion; 2008. 250 p.
18. Viel E. La marche humaine, la course et le saut. Masson. 2000. 267 p.
19. Sherrington CS. The Integrative Action of the Nervous System. Creative Media Partners, LLC, 2017; 1906. 411 p.
20. De Rosnay J. Le macroscope : Vers une vision globale. Seuil. 1975.

21. Richard D, Orsal D. Neurophysiologie : Organisation et fonctionnement du système nerveux. 3e édition. Dunod; 540 p.
22. Okamoto T, Kumamoto M. Electromyographic study of the learning process of walking in infants. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 1972;12(2):149-58.
23. Ledebt A, Bril B, Brenière Y. The build-up of anticipatory behaviour. An analysis of the development of gait initiation in children. *Exp Brain Res.* 1998;120(1):9-17.
24. Paralysie Cérébrale ou Infirmité Motrice Cérébrale (IMC) | AVC DE L'ENFANT [Internet]. 2015 [cité 15 sept 2018]. Disponible sur: <http://avcenfant.fr/paralysie-cerebrale/>
25. Troubles DYS [Internet]. Fédération Française des DYS. 2008 [cité 11 avr 2019]. Disponible sur: <http://www.ffdys.com/troubles-dys>
26. Mazeau M, Lemoalle J-P. Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies de l'enfant atteint de lésions cérébrales précoces : du trouble à la rééducation. Masson; 1995. 166 p.
27. Pannetier E. La dyspraxie : Une approche clinique et pratique. Editions de l'Hôpital Sainte-Justine. 2007. 123 p.
28. Rosenbaum PL, Palisano RJ, Bartlett DJ, Galuppi BE, Russell DJ. Development of the Gross Motor Function Classification System for cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology.* 2008;50(4):249-53.
29. Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston M. Le Système de Classification de la Fonction Motrice Globale Étendu, Revu et Corrigé. 2007;6.
30. La paralysie cérébrale (ou Infirmité motrice cérébrale) [Internet]. APF France handicap. 2017 [cité 16 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.apf-francehandicap.org/IMC-infirmité-motrice-cerebrale-1549>
31. Beckung E, Hagberg G, Uldall P, Cans C. Probability of Walking in Children With Cerebral Palsy in Europe. *Pediatrics.* 2008;121(1):e187-92.
32. Bernard P, Ninot G. Les déficiences motrices. *Revue Eps.* 2004. 128 p.
33. Bernard J-C. La marche de l'infirme moteur cérébral enfant et adulte. Springer. 2005. 174 p.
34. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait & Posture.* 1999;9(3):207-31.
35. van den Hecke A, Malghem C, Renders A, Detrembleur C, Palumbo S, Lejeune TM. Mechanical work, energetic cost, and gait efficiency in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* 2007;27(6):643-7.
36. Gautheron V, Bourcheix L, Laurent-Vannier A, Andre JM. Principales échelles d'évaluation chez l'enfant et l'adolescent en médecine physique et réadaptation. *Ipsen.* 2007. 299 p.
37. Maathuis KGB, van der Schans CP, van Iperen A, Rietman HS, Geertzen JHB. Gait in children with cerebral palsy : observer reliability of Physician Rating Scale and Edinburgh Visual Gait Analysis Interval Testing scale. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(3):268-72.
38. Edwards I, Jones M. La Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF). *Kinésithérapie, la Revue.* 2007;7(71):40-9.
39. Prabhu RKR, Swaminathan N, Harvey LA. Passive movements for the treatment and prevention of contractures. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;(12):CD009331.

40. Katalinic OM, Harvey LA, Herbert RD, Moseley AM, Lannin NA, Schurr K. Stretch for the treatment and prevention of contractures. *Cochrane Database Syst Rev*. 2010;(9):CD007455.
41. Wallen M, Stewart K. The evidence for abandoning upper limb stretch interventions in paediatric practice: Opinion. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2013;55(3):208-9.
42. Agency for Clinical Innovation. Management Of Cerebral Palsy In Children: A Guide For Allied Health Professionals. mars 2018;148.
43. Novak I, McIntyre S, Morgan C, Campbell L, Dark L, Morton N, et al. A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: state of the evidence. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2013;55(10):885-910.
44. Brown GT, Burns SA. The Efficacy of Neurodevelopmental Treatment in Paediatrics: A Systematic Review. *British Journal of Occupational Therapy*. 2001;64(5):235-44.
45. Butler C, Darrah J. Effects of neurodevelopmental treatment (NDT) for cerebral palsy: an AACPDM evidence report. *Dev Med Child Neurol*. 2001;43(11):778-90.
46. Martin L, Baker R, Harvey A. A systematic review of common physiotherapy interventions in school-aged children with cerebral palsy. *Phys Occup Ther Pediatr*. 2010;30(4):294-312.
47. Haute Autorité de Santé - Comportements perturbateurs chez les personnes ayant des lésions cérébrales acquises avant l'âge de 2 ans : prévention et prise en charge [Internet]. 2014 [cité 19 févr 2019]. Disponible sur: <https://www.has-sante.fr>
48. Aisen ML, Kerkovich D, Mast J, Mulroy S, Wren TA, Kay RM, et al. Cerebral palsy: clinical care and neurological rehabilitation. *The Lancet Neurology*. 2011;10(9):844-52.
49. Mateos-Aparicio P, Rodríguez-Moreno A. The Impact of Studying Brain Plasticity. *Front Cell Neurosci*. 2019;13:66.
50. Garvey MA, Giannetti ML, Alter KE, Lum PS. Cerebral palsy: New approaches to therapy. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2007;7(2):147-55.
51. Holt RL, Mikati MA. Care for Child Development: Basic Science Rationale and Effects of Interventions. *Pediatric Neurology*. 2011;44(4):239-53.
52. Barbeau H, Rossignol S. Recovery of locomotion after chronic spinalization in the adult cat. *Brain Research*. 1987;412(1):84-95.
53. Hesse S, Bertelt C, Schaffrin A, Malezic M, Mauritz KH. Restoration of gait in nonambulatory hemiparetic patients by treadmill training with partial body-weight support. *Arch Phys Med Rehabil*. 1994;75(10):1087-93.
54. Recherches impliquant la personne humaine - Ministère des Solidarités et de la Santé [Internet]. 2016 [cité 23 févr 2019]. Disponible sur: <https://solidarites-sante.gouv.fr/systeme-de-sante-et-medico-social/recherche-et-innovation/recherches-impliquant-la-personne-humaine/>
55. Rose J, Gamble JG, Lee J, Lee R, Haskell WL. The Energy Expenditure Index: A Method to Quantitate and Compare Walking Energy Expenditure for Children and Adolescents. *Journal of Pediatric Orthopaedics*. 1991;11(5):571.
56. Cristol C, Bérard C. Évaluation fonctionnelle de la marche par l'index de dépense énergétique. Valeurs de référence chez l'enfant. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*. 1998;41(7):429-33.

57. Raja K, Joseph B, Benjamin S, Minocha V, Rana B. Physiological cost index in cerebral palsy: its role in evaluating the efficiency of ambulation. *J Pediatr Orthop*. 2007;27(2):130-6.
58. Bruijn SM, Meijer OG, Beek PJ, van Dieen JH. The effects of arm swing on human gait stability. *Journal of Experimental Biology*. 2010;213(23):3945-52.
59. Cappozzo A. Analysis of the linear displacement of the head and trunk during walking at different speeds. *Journal of Biomechanics*. 1981;14(6):411-25.
60. Izadi-Najafabadi S, Rinat S, Zwicker JG. Rehabilitation-induced brain changes detected through magnetic resonance imaging in children with neurodevelopmental disorders: A systematic review. *International Journal of Developmental Neuroscience*. 2019;73:66-82.
61. Meyer-Heim A, Ammann-Reiffer C, Schmartz A, Schäfer J, Sennhauser FH, Heinen F, et al. Improvement of walking abilities after robotic-assisted locomotion training in children with cerebral palsy. *Arch Dis Child*. 2009;94(8):615-20.
62. Borggraefe I, Schaefer JS, Klaiber M, Dabrowski E, Ammann-Reiffer C, Knecht B, et al. Robotic-assisted treadmill therapy improves walking and standing performance in children and adolescents with cerebral palsy. *European Journal of Paediatric Neurology*. 2010;14(6):496-502.
63. Klobucka S, Kováč M, Žiaková E, Klobucký R. Effect of Robot-Assisted Treadmill Training on Motor Functions Depending on Severity of Impairment in Patients with Bilateral Spastic Cerebral Palsy. *Journal of Rehabilitation Robotics*. 2013;1(2):71-81-81.
64. Schott GD. Penfield's homunculus: a note on cerebral cartography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1993;56(4):329-33.
65. Lyon W, Mehta TI, Pointer KB, Walden D, Elmayan A, Swanson KI, et al. Clinton Woolsey: Functional Brain Mapping Pioneer. *J Neurosurg*. 2014;121(4):983-8.

ANNEXES

Table des Annexes:

- Annexe 1 : Les différentes catégories des « troubles dys » selon la Fédération Française des DYS (FFDYS).
- Annexe 2 : Classifications :
 - Gross Motor Function Classification System (GMFCS).
- Annexe 3 : Scores d'évaluation fonctionnelle :
 - Physician Rating Scale (PRS).
 - Index de Dépense Énergétique (IDE).
- Annexe 4 : Mentions légales :
 - Lettre d'information.
 - Formulaire de consentement.
- Annexe 5 : Recueil de données :
 - Présentation du logiciel XLSTAT.
 - Détail des données PRS.
 - Détail des données IDE.
 - Tableau Excel récapitulatif des données recueillies (valeurs initiales et finales).
- Annexe 6 : Feuilles de calculs : test de l'efficacité de l'exercice chez les enfants cérébro-lésés du groupe test :
 - Test de l'efficacité sur la biomécanique de la marche.
 - Test de l'efficacité sur le coût énergétique de la marche.

Annexe 1 : Les différentes catégories des « troubles dys » selon la Fédération Française des DYS (FFDYS)

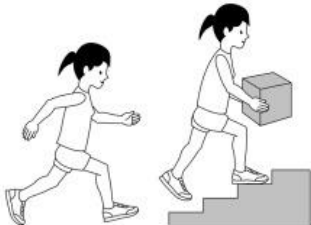
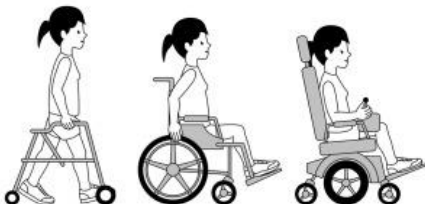
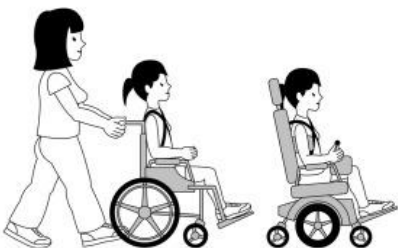
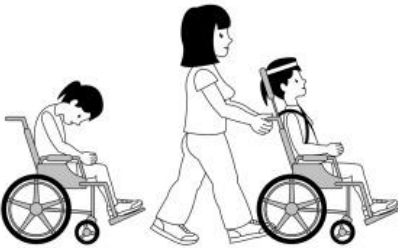
La Fédération Française des DYS (FFDYS) regroupe les « troubles Dys » en 6 catégories distinctes (25) :

- *Dyslexie et dysorthographe* : troubles spécifiques de l'acquisition du langage écrit.
- *Dysphagie* : troubles spécifiques du développement du langage oral.
- *Dyspraxie* : troubles spécifiques du développement moteur et/ou des fonctions visuo-spatiales.
- *Troubles d'attention avec ou sans hyperactivité* : troubles spécifiques du développement des processus attentionnels et/ou des fonctions exécutives.
- *Troubles spécifiques du développement des processus mnésiques*.
- *Dyscalculie* : troubles spécifiques des activités numériques.

Annexe 2: Classification

Gross Motor Function Classification System (GMFCS)

Pour des enfants entre 6 et 12 ans

	GMFCS Level I Youth walk at home, school, outdoors and in the community. Youth are able to climb curbs and stairs without physical assistance or a railing. They perform gross motor skills such as running and jumping but speed, balance and coordination are limited.
	GMFCS Level II Youth walk in most settings but environmental factors and personal choice influence mobility choices. At school or work they may require a hand held mobility device for safety and climb stairs holding onto a railing. Outdoors and in the community youth may use wheeled mobility when traveling long distances.
	GMFCS Level III Youth are capable of walking using a hand-held mobility device. Youth may climb stairs holding onto a railing with supervision or assistance. At school they may self-propel a manual wheelchair or use powered mobility. Outdoors and in the community youth are transported in a wheelchair or use powered mobility.
	GMFCS Level IV Youth use wheeled mobility in most settings. Physical assistance of 1-2 people is required for transfers. Indoors, youth may walk short distances with physical assistance, use wheeled mobility or a body support walker when positioned. They may operate a powered chair, otherwise are transported in a manual wheelchair.
	GMFCS Level V Youth are transported in a manual wheelchair in all settings. Youth are limited in their ability to maintain antigravity head and trunk postures and control leg and arm movements. Self-mobility is severely limited, even with the use of assistive technology.

GMFCS descriptors: Palisano et al. (1997) Dev Med Child Neurol 39:214-23
CanChild: www.canchild.ca

Illustrations copyright © Kerr Graham, Bill Reid and Adrienne Harvey,
The Royal Children's Hospital, Melbourne

Figure 33: GMFCS ou niveau de Palisano (entre 6 et 12 ans). (Palisano 1997). Illustré par Kerr Graham et Bill Reid, The Royal Children's Hospital, Melbourne. Traduction française de l'Escale.

Annexe 3: Scores d'évaluation fonctionnelle

Physician Rating Scale

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 :

Prénom :

Date 2 :

Physician Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0				
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0				
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1				
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0				
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0				
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0				
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Base d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0				
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1				
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL						

Figure 34: Physician Rating scale (échelle fonctionnelle quantifiée du membre inférieur)

Adaptée de la Physicians Rating Scale (PRS) (Koman et al., 1993 et Corry et al., 1998)

Index de Dépense Energétique

FICHE I.D.E.

Nom :

Prénom :

Age :

N° dossier :

Diagnostic :

☐ ème IDE

Date :

Heure :

Indications de l'IDE :

- suivi systématique ☐
- pré-opératoire ☐
- post-opératoire ☐
- autres (toxine, ...) ☐

Délai chirurgie :

Nature de la chirurgie :

Conditions d'enregistrement :

- pieds nus ☐
- chaussures ordinaires ☐
- chaussures orthopédiques ☐
- appareillage ☐
- AT de marche ☐
- Autre ☐

laquelle :

.....

Déroulement de l'épreuve conforme au protocole

OUI ☐

NON ☐

motif :

Longueur du tour :m

Nombre de tours :

Distance parcourue en 5 minutes :

Vitesse (m/min) :

Fréquences cardiaques de la dernière minute :

Fréquence cardiaque moyenne sur la dernière minute :

$$\text{IDE} = \frac{\text{FC moyenne de la 5}^{\text{ème}} \text{ minute}}{\text{Vitesse (m/min)}} =$$

Interprétation :

Figure 35: Fiche I.D.E. Source : Bérard C. *La paralysie cérébrale de l'enfant : Guide de la consultation examen neuro-orthopédique du tronc et des membres inférieurs*. Sauramps médical ; 2010 : 265p.

Annexe 4: Mentions légales

Lettre d'information

LETTRÉ D'INFORMATION

POUR LA PARTICIPATION A UN SUJET DE RECHERCHE DE FIN D'ETUDE

Titre de l'étude :	Place de la répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur les capacités fonctionnelles de l'enfant paralysé cérébral
---------------------------	---

Madame, Monsieur,

L'étudiante en kinésithérapie, Mme Stéphanie PAVY, propose à votre enfant de participer à une recherche.

Avant de prendre une décision, il est important que vous lisiez attentivement ces pages qui vous apporteront les informations nécessaires concernant les différents aspects de cette recherche. N'hésitez pas à lui poser toutes les questions que vous jugerez utiles.

Votre décision de faire participer votre enfant à l'étude est entièrement volontaire. **Il peut se retirer de cette étude à n'importe quel moment.** Si de nouvelles informations, pouvant influencer la décision de poursuivre sa participation, devenaient disponibles pendant l'étude, vous en seriez aussitôt informé.

1. Pourquoi cette recherche ?

Cette recherche fait l'objet d'un sujet de mémoire de fin d'études de masseur-kinésithérapeute.

L'élaboration de ce mémoire trouve son origine dans les différents aspects de la paralysie cérébrale, sa fréquence, la population qu'elle touche ainsi que son rapport direct avec le métier de kinésithérapeute. A cela s'ajoute la volonté de promouvoir la recherche sur la paralysie cérébrale, d'informer et de sensibiliser aussi bien le grand public, les professionnels de santé que les scientifiques.

2. Quel est l'objectif de cette recherche ?

Cette recherche a pour objectif d'évaluer l'impact fonctionnel d'un travail de répétition du schéma sensori-moteur de la marche chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale.

3. Comment va se dérouler cette recherche ?

Cette recherche se déroulera sur 5 semaines à raison de 3 séances de rééducation par semaine.

Deux groupes seront formés, l'un avec des soins classiques de rééducation, l'autre auquel sera additionné 10 minutes de répétition du schéma de marche sur table.

4. Qui peut participer ?

Des enfants atteints de paralysie cérébrale spastique, âgés entre 7 et 15 ans, capables d'enchaîner dix pas sans l'aide d'une tierce personne et de répondre aux instructions données par le kinésithérapeute.

5. Que demandera-t-on à votre enfant ?

Sur la table de kinésithérapie, de s'installer sur le côté et d'aider le thérapeute dans la réalisation du schéma de marche.

6. Quels sont les bénéfices attendus ?

Une automatisation lors de la marche conduisant à une amélioration des capacités fonctionnelles de votre enfant.

7. Quels sont les inconvénients possibles ?

Cette recherche peut se révéler inefficace sur l'amélioration de l'état fonctionnel de votre enfant.

8. Quels sont les droits de votre enfant ?

La participation de votre enfant à l'étude sera interrompue à tout moment si elle lui fait courir le moindre risque. Par ailleurs, votre enfant sera libre sans se justifier, de se désister à tout moment, mais dans ce cas, il ne manquera pas d'en informer son kinésithérapeute. L'arrêt de sa participation n'aura aucune conséquence sur la qualité des soins que continuera à être prodigué.

De plus, sa participation à l'étude peut être interrompue pour une des raisons suivantes:

- Votre enfant ne suit pas les instructions du kinésithérapeute ;
- Un événement sérieux lui arrive qui peut nécessiter un traitement ;
- Son kinésithérapeute décide, pour sa santé et son bien-être, que votre enfant doit interrompre l'étude ;
- Il n'y a pas assez de patients dans l'étude ;

A l'issue de la recherche, si vous le souhaitez, vous pourrez être informé des résultats globaux de cette recherche.

Les données individuelles nécessaires à l'étude, rassemblées sous une forme anonymisée, sont transmises pour être traitées par informatique afin d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif qui vous a été présenté.

Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées et traitées dans le cadre de cette recherche.

- Si vous le souhaitez, lorsque cette recherche sera terminée, vous serez tenu(e) informé(e) personnellement des résultats globaux par Mme Stéphanie PAVY via courrier électronique (*page 2*).

Ce document vous appartient. Il vous sera possible, à vous et à votre enfant, de poser des questions à tout moment, avant et en cours d'étude. Il vous est garanti que toute information nouvelle survenant pendant la participation de votre enfant et pouvant modifier votre décision de participation vous sera donnée.

Après avoir lu cette note d'information, n'hésitez pas à poser à Mme PAVY Stéphanie toutes les questions que vous désirez. Après un délai de réflexion, si vous acceptez que votre enfant participe à cette recherche, vous devez compléter et signer le formulaire de consentement de participation.

Lettre d'information remise : le/...../20..... à

Par :

(Facultatif) Pour toutes demandes d'informations supplémentaires par rapport à l'étude effectuée, vous pourrez me contacter à l'adresse suivante : stephanie.pavy@etud.u-picardie.fr

Formulaire de Consentement

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT DE PARTICIPATION A UN SUJET DE RECHERCHE DE FIN D'ETUDE

Titre de l'étude :	Place de la répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur les capacités fonctionnelles de l'enfant paralysé cérébral
---------------------------	--

Je soussigné(e)(nom,prénom).....autorise mon
enfant(nom, prénom).....né(e) le :

demeurant à :

Je certifie avoir lu et compris la note d'information qui m'a été remise et que j'ai disposé d'un temps de réflexion suffisant entre la remise de la lettre d'information et la signature du consentement.

J'ai eu la possibilité de poser toutes les questions que je souhaitais à Mme PAVY Stéphanie qui m'a expliqué la nature, les objectifs, les risques potentiels et les contraintes liées à la participation de mon enfant à cette recherche.

Mon enfant connaît la possibilité qui lui est réservée d'interrompre sa participation à cette recherche à tout moment sans avoir à justifier sa décision et qu'il fera son possible pour en informer le kinésithérapeute qui le suit dans la recherche. Cela ne remettra naturellement pas en cause la qualité des soins ultérieurs.

J'ai eu l'assurance que les décisions qui s'imposent pour sa santé seront prises à tout moment, conformément à l'état actuel des connaissances médicales.

Je suis informé(e) que la possibilité qu'une partie des prélèvements effectués à l'occasion de ce protocole de recherche soit conservée pour une utilisation ultérieure à des fins de recherche. J'ai également été informé(e) de mon droit à m'opposer à ce que cette conservation et cette utilisation ultérieure à des fins de recherche aient lieu.

J'accepte que les personnes qui collaborent à cette recherche aient accès à l'information dans le respect le plus strict de la confidentialité.

J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette recherche, puissent faire l'objet d'un traitement informatisé.

Les données individuelles de votre enfant nécessaires à l'étude, rassemblées sous une forme anonymisée, sont transmises à Mme PAVY Stéphanie pour être traitées par informatique afin d'analyser les résultats de la recherche au regard de l'objectif qui vous a été présenté.

D'autre part, Mme PAVY Stéphanie, tenue au secret professionnel, peut avoir accès à votre dossier pour contrôle de conformité.

Vous disposez également d'un droit d'opposition à la transmission des données couvertes par le secret professionnel susceptibles d'être utilisées et traitées dans le cadre de cette recherche.

Mon consentement ne décharge en rien les acteurs de la recherche de leurs responsabilités à mon égard.

Je conserve tous les droits garantis par la loi.

Les résultats globaux de la recherche me seront communiqués directement, si je le souhaite, conformément à la loi du 4 mars 2002 relative aux droits des malades et à la qualité du système de santé.

J'atteste que mon enfant est affilié à un régime de sécurité sociale ou bien bénéficiaire d'un tel régime.

☐ J'ACCEPTE QUE MON ENFANT PARTICIPE À CETTE RECHERCHE DANS
LES CONDITIONS PRÉCISÉES DANS CE DOCUMENT ET JE CONFIRME QUE
J'AI REÇU UNE COPIE DE CE FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

☐ J'ACCEPTE QUE LES DONNÉES CONCERNANT MON ENFANT SOIENT
UTILISÉES LORS DE RECHERCHES ULTÉRIEURES EXCLUSIVEMENT À DES
FINS DE RECHERCHE

Le (ou les) parent(s):
Nom / prénom :
Date : A :
Signature (précédée de la mention « Lu, compris et approuvé ») :

Attestation de Mme PAVY Stéphanie qui a dispensé l'information :

J'ai informé le patient ci-dessus sur cette étude clinique et sur les aspects sus-mentionnés. J'ai utilisé à cet effet les documents afférents (Lettre d'Information) à l'étude avant qu'il/elle donne son consentement

L'investigateur
Nom / prénom :
Date : A :
Signature :

Annexe 5: Recueil de données

Présentation du logiciel XLSTAT

XLSTAT est une extension pour Microsoft Excel permettant l'analyse de données factorielles et statistiques.

Cet outil comprend diverses modalités :

- Préparation et visualisation de données.
- Utilisation de tests statistiques paramétriques et non-paramétriques.
- Méthodes de modélisation.
- Fonctionnalités d'exploration de données.
- Méthodes de classification.

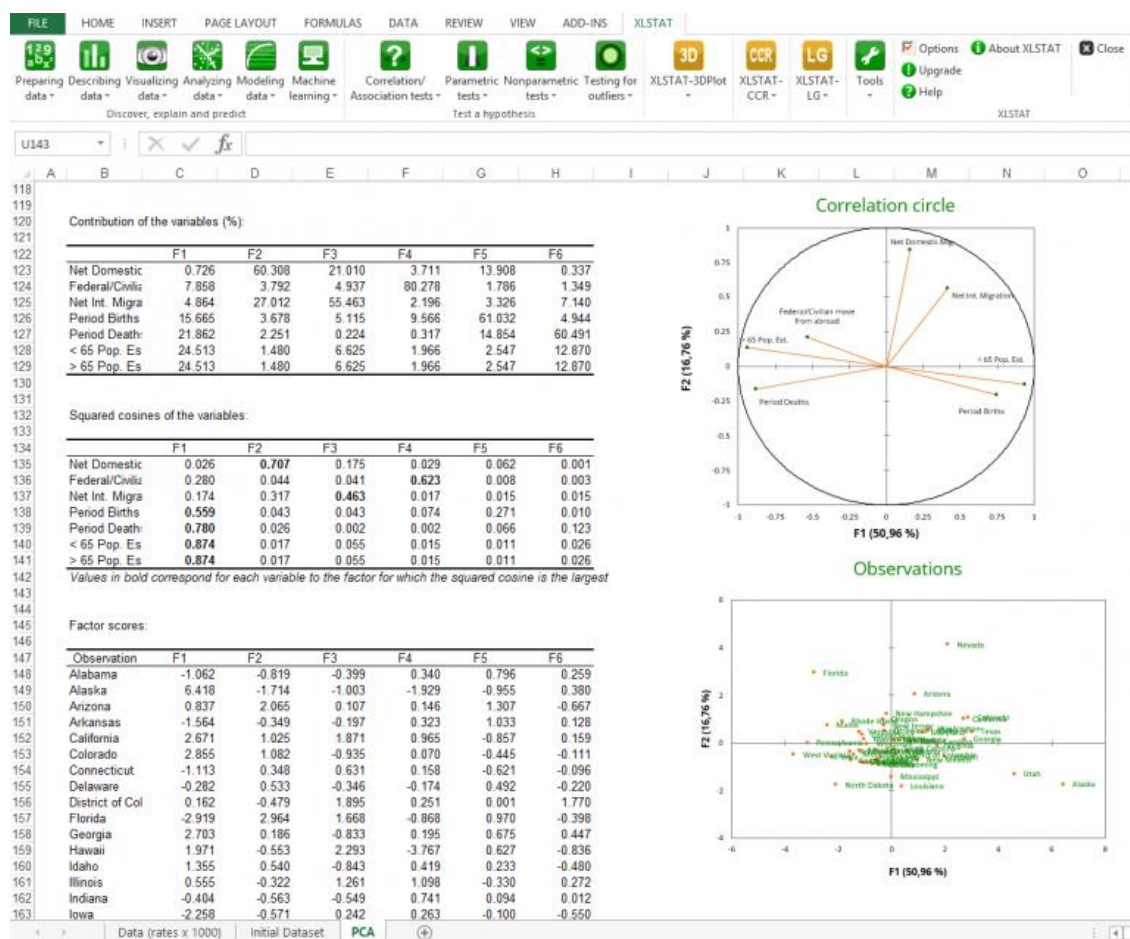


Figure 36: Présentation du logiciel XLSTAT. <https://www.xlstat.com/fr/solutions/base>

Détail des données PRS

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 01/03/2019

Prénom : Elizio

Date 2 : 26/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	0	0	0	0
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	1	2	1	2
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	-1	0	-1	0
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	0	1	0	1
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	1	1	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	1	1	1	1
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			6	9	6	9

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 27/02/2019

Prénom : Alice

Date 2 : 27/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	0	0	0	0
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	2	1	2	1
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	0	-1	0	-1
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	1	0	1	0
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	1	1	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	1	0	1	0
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	1	1	1	1
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			7	3	7	3

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 25/02/2019

Prénom : Morgane

Date 2 : 25/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0				
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2	2	1	2	1
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	1	2	1	2
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	-1	0	-1	0
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	0	1	0	1
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	1	1	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	1	3	1	3
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			8	12	8	12

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 25/02/2019

Prénom : Laurine

Date 2 : 26/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	1	1	1	1
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	3	2	3	2
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	3	1	3	1
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	3	3	3	3
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	2	1	2	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	3	3	3	3
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			19	15	19	15

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 26/02/2019

Prénom : Mathéo

Date 2 : 26/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	0	0	0	0
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	3	2	3	2
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	2	0	2	0
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	1	1	1	1
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	1	1	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	1	2	1	2
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			12	10	12	10

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 27/02/2019

Prénom : Antoine

Date 2 : 27/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	2	2	2	2
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	3	2	3	2
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	3	2	3	2
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	3	2	3	2
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	0	1	0
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	3	1	3	1
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			19	13	19	13

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 28/02/2019

Prénom : Clémentine

Date 2 : 25/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0			2	
	Modéré de 10 à 15°	1	1			
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2		2		2
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	3	3	3	3
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	3	3	3	3
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	3	2	3	2
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	2	1	2	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	3	1	3	1
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	2	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			19	16	21	16

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 26/02/2019

Prénom : Laure

Date 2 : 21/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	0	0	0	0
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	2	3	2	3
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	1	2	1	3
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	2	2	2	2
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	1	1	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	3	3	3	3
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	2
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			13	15	13	17

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 27/02/2019

Prénom : Yorane

Date 2 : 25/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0		3		3
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2	2		2	
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	0	3	0	3
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	1	3	1	3
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	3	3	3	3
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	1	1	1
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	1	3	1	3
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	1
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			12	20	12	20

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 01/03/2019

Prénom : Mayédine

Date 2 : 29/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	0	0	0	0
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	0	2	0	3
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	-1	2	-1	3
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	0	3	0	3
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	2	1	2
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	3	1	3	1
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	2
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			7	14	7	17

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 25/02/2019

Prénom : Haytham

Date 2 : 28/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0				
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2	1	1	1	1
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	2	2	2	2
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	1	1	1	2
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	2	2	2	3
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	2	1	2
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	3	1	3	1
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	0	0	0	0
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	2
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			11	10	11	13

Examen de la vidéo de la marche

Nom :

Date 1 : 28/02/2019

Prénom : Jade

Date 2 : 26/03/2019

Physicians Rating scale – Membre Inférieur (Koman modifié Corry, Boyd)

			Date 1		Date 2	
			G	D	G	D
Attitude du Genou au mi-appui, en flexion	Sévère > 15°	0	0	0	0	0
	Modéré de 10 à 15°	1				
	Faible <10°	2				
	Neutre	3				
Attitude du genou en mi-appui, récurvatum	Faible <5°	2				
	Modéré 5 à 10°	1				
	Sévère > 10°	0				
Contact initial	Orteils	0	3	2	3	2
	Avant-pied	1				
	Plantigrade	2				
	Talon	3				
Enchaînement du contact du pied (déroulement du pas)	Contact orteils/orteils (reste en équin)	-1	3	2	3	2
	Contact plantigrade/ soulèvement précoce du talon	0				
	Contact plantigrade/ pas de soulèvement précoce du talon	1				
	Contact occasionnel du talon/ plantigrade	2				
	Contact initial du talon/ orteil (déroulement normal du pas)	3				
Moment du soulèvement du talon	Pas de contact du talon	0	3	2	3	3
	Très précoce (entre 0 et 25% de la phase d'appui)	1				
	Légèrement précoce (entre 25 et 50% de la phase d'appui)	2				
	En fin de phase d'appui	3				
	Aucun soulèvement du talon (type crouch)	0				
Arrière-pied	Varus	0	1	0	1	0
	Valgus	1				
	Normalité	2				
Base d'appui	Attitude franche « en ciseaux »	0	3	1	3	1
	Base d'appui étroite	1				
	Base d'appui large	2				
	Basse d'appui normale (= largeur d'épaules)	3				
Aides techniques	Déambulateur (ant. Ou post.) avec assistance d'un tiers	0	3	3	3	3
	Déambulateur sans assistance	1				
	Cannes	2				
	Aucune, périmètre de marche > 10m	3				
Evolution	Pire	-1	1	1	1	2
	Aucune (ou première évaluation)	1				
	Meilleur	2				
TOTAL			17	11	17	13

Détail des données IDE

Semaine du 25/02/2019 au 01/03/2019

- Groupe contrôle :

Tableau X : IDE initial du groupe contrôle.

	<u>Elizio</u>	<u>Alice</u>	<u>Morgane</u>	<u>Laurine</u>	<u>Mathéo</u>	<u>Antoine</u>
FC (5) (bpm)	83	157	155	97	130	146
Mètres (m)	285	131	210	308	252	295
IDE (batt/m)	1,46	5,99	3,69	1,58	2,58	2,47

- Groupe test :

Tableau XI : IDE initial du groupe test.

	<u>Clémentine</u>	<u>Laure</u>	<u>Yorane</u>	<u>Mayédine</u>	<u>Haytham</u>	<u>Jade</u>
FC(5) (bpm)	103	103	51	129	134	133
Mètres (m)	230	386	286	297	75	310
IDE (batt/m)	2,24	1,33	0,89	2,17	8,93	2,15

Semaine du 25/03/2019 au 29/03/2019

- Groupe contrôle :

Tableau XII : IDE final du groupe contrôle.

	<u>Elizio</u>	<u>Alice</u>	<u>Morgane</u>	<u>Laurine</u>	<u>Mathéo</u>	<u>Antoine</u>
FC (5) (bpm)	45	144	130	89	55	130
Mètres (m)	264	217	195	308	228	313
IDE (batt/m)	0,85	3,32	3,33	1,44	1,21	2,08

- Groupe test :

Tableau XIII : IDE final du groupe test.

	<u>Clémentine</u>	<u>Laure</u>	<u>Yorane</u>	<u>Mayédine</u>	<u>Haytham</u>	<u>Jade</u>
FC (5) (bpm)	44	65	54	100	70	43
Mètres (m)	297	320	348	328	165	295
IDE (batt/m)	0,74	1,02	0,78	1,52	2,12	0,73

Tableau Excel récapitulatif des données recueillies

(Valeurs initiales et finales)

Tableau XIV : Récapitulatif des données initiales et finales recueillies.

Groupe contrôle	PRSi (%)	PRSf (%)	IDEi (batt/m)	IDEf (batt/m)
<i>Elizio</i>	34	34	1,46	0,85
<i>Alice</i>	23	23	5,99	3,32
<i>Morgane</i>	45	45	3,69	3,33
<i>Laurine</i>	77	77	1,58	1,44
<i>Mathéo</i>	50	50	2,58	1,21
<i>Antoine</i>	73	73	2,47	2,08

Groupe test	PRSi (%)	PRSf (%)	IDEi (batt/m)	IDEf (batt/m)
<i>Clémentine</i>	80	84	2,24	0,74
<i>Laure</i>	64	68	1,33	1,02
<i>Yorane</i>	73	73	0,89	0,78
<i>Mayédine</i>	48	55	2,17	1,52
<i>Haytham</i>	48	55	8,93	2,12
<i>Jade</i>	63	68	2,15	0,73

Annexe 6 : Feuilles de calculs : test de l'efficacité de l'exercice chez les enfants cérébro-lésés du groupe test

Test de l'efficacité sur la biomécanique de la marche

Niveau de signification (%) : 5

Statistiques descriptives :

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
PRSi (%)	6	48,000	80,000	62,667	12,956
PRSi (%)	6	55,000	84,000	67,167	11,089

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	0
V (normalisé)	-2,041
Espérance	7,500
Variance (V)	13,500
p-value (bilatérale)	0,041
alpha	0,05

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Synthèse (p-values) :

Variable\Test	Test de Wilcoxon des rangs signés
PRSi (%) - PRSi (%)	0,041

Test de l'efficacité sur le coût énergétique de la marche

Niveau de signification (%) : 5

Statistiques descriptives :

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
IDEi (batt/m)	6	0,890	8,930	2,952	2,979
IDEf (batt/m)	6	0,730	2,120	1,152	0,561

Test de Wilcoxon des rangs signés / Test bilatéral :

V	21
Espérance	10,500
Variance (V)	22,750
p-value (bilatérale)	0,031
alpha	0,05

Interprétation du test :

H0 : Les deux échantillons suivent la même loi de distribution.

Ha : Les distributions des deux échantillons sont différentes.

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

Synthèse (p-values) :

Variable\Test	Test de Wilcoxon des rangs signés
IDEi (batt/m) - IDEf (batt/m)	0,031

RESUME

Introduction : La perte de la marche représente l'une des complications fonctionnelles les plus fréquentes chez les enfants atteints de paralysie cérébrale. La marche peut se définir à la fois comme une organisation biomécanique et neurophysiologique complexe. Des études récentes appellent à une rééducation basée sur un apprentissage sensori-moteur de manière à solliciter les capacités de plasticité cérébrale. Parmi elles, des méthodes de rééducation assistées par robotique se développent mais constituent un coût économique important. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité fonctionnelle d'un exercice de répétition du schéma sensori-moteur de la marche sur table.

Matériel et méthode : Douze patients de 7 à 15 ans ont été inclus dans l'étude, répartis de manière randomisée, en deux puis en quatre groupes distincts, avec à chaque fois : un groupe contrôle et un groupe test. Le groupe contrôle a bénéficié d'un protocole de « soins classiques » de 45 minutes par séance. Le groupe test a bénéficié d'un protocole de « soins classiques » de 35 minutes associé à 10 minutes de l'exercice évalué. Des analyses pré et post-traitement des résultats ont été réalisées à l'aide des échelles fonctionnelles de la Physician Rating Scale (PRS) et de l'Index de Dépense Énergétique (IDE).

Résultats : Une amélioration significative de la marche et de son coût énergétique ont été constatées après 15 séances de traitement kinésithérapique chez l'ensemble des patients cérébro-lésés (probabilité inférieure au seuil de signification de 5%).

Discussion : Étendre la durée de réalisation et inclure un plus grand nombre de participants permettraient de hausser le niveau de puissance statistique et de répondre significativement à l'objectif de cette étude.

Conclusion : Approfondir les recherches sur l'efficacité fonctionnelle de cet exercice pourrait être le sujet d'investigations futures.

Mots clé : Paralysie cérébrale – kinésithérapie – marche pathologique de l'enfant – rééducation de la marche – schéma sensori-moteur de la marche

ABSTRACT

Purpose: In children with cerebral palsy, one of the most common functional complications is locomotion loss. Walking can be defined as both a complex biomechanical organization and neurophysiological organization. Recent studies focused on a sensory-motor learning and acquisition in order to use cerebral plasticity abilities. Among them, robotic-assisted rehabilitation methods are currently developing but imply significant economic cost. The aim of this study is to assess the functional effectiveness of the following exercise: sensory-motor gait pattern repetition, on a table.

Material and method: Twelve patients aged 7 to 15 years were included in the study, randomized into two and then four separate groups: each with a control group and a test group. The control group was provided with a 45-minute “traditional care” protocol per session. The test group was granted a 35-minute “traditional care” protocol associated with 10 minutes of the evaluated exercise. Pre and post-treatment analyses of results were performed by using functional scales of the Physician Rating Scale (PRS) and the Energy Expenditure Index (EEI).

Results: A significant improvement in walking and its energy cost were noticed after 15 sessions of physiotherapy treatment in all cerebral patients (probability lower than the 5% significant rate).

Discussion: Extending the duration of the period and including a larger number of participants would increase the level of statistical relevance and significantly achieve the objective of this study.

Conclusion: Further research on the functional effectiveness of this exercise may be subject to future investigations.

Key Words: Cerebral Palsy – physiotherapy – abnormal gait in children – gait rehabilitation – sensory-motor gait pattern