



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Badji MOKHTAR – Annaba
Faculté de Médecine
Département de Médecine



Thèse de Doctorat en Vue de l'Obtention du Diplôme de Docteur en Sciences Médicales
SPECIALITE : MEDECINE PHYSIQUE ET READAPTATION

APPORT DE L'ENTRAINEMENT À LA MARCHÉ AUX CAPACITÉS MOTRICES DES ENFANTS PARALYTIQUES CÉRÉBRAUX MARCHANTS PRIS EN CHARGE À L'EHS SERAIDI

PRESENTEE PAR

IMENE BOUAKKAZ

MAITRE-ASSISTANTE EN MEDECINE PHYSIQUE ET READAPTATION

FACULTE DE MEDECINE D'ANNABA

PROF. SOUMAYA LEMAI	Faculté de médecine de Constantine	PRESIDENTE
PROF. NOURREDINE TOUMI	Faculté de médecine d'Annaba	DIRECTEUR
PROF. HALIMA ZEROUGA	Faculté de médecine d'Oran	MEMBRE
PROF. AHMED LOTFI BOUSTIL	Faculté de médecine d'Annaba	MEMBRE
PROF. AICHA OTMANE	Faculté de médecine d'Annaba	MEMBRE

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2025-2026

DEDICACES

Je dédie ce travail à...

Pr. Jean-François Mathé,

Depuis notre rencontre en 2012, tu as illuminé ma vision de la médecine en général et de la MPR en particulier; tes enseignements ont profondément façonné mon parcours professionnel, intellectuel et humain. Ce travail est le prolongement de ce que tu m'as transmis, et je continuerai à honorer, en valeureuse disciple, tes principes de partage, de générosité et d'écoute. Avec une profonde reconnaissance et une sincère admiration, je te dédie naturellement ce travail.

Mes parents,

Vous êtes les piliers de ma vie, faits de bienveillance, d'amour, d'affection et de sécurité. Chaque travail que j'entreprends transpire l'éducation que vous m'avez offerte. Vous m'avez appris à croire en moi, à être droite dans mes choix, et à avancer avec courage et honnêteté. Vous m'avez aussi appris à penser librement, à oser m'ouvrir au monde, à travers une éducation moderne fondée sur la confiance et le respect. C'est grâce à vous que je suis devenue une adulte libre et engagée. Je vous dois absolument tout.

Mon mari

Je n'aurais pu mener ce manuscrit à son terme sans tes précieux conseils, ton dévouement et ta patience. À chaque étape de cette thèse, tu as été présent, tour à tour soutien technique, regard critique et guide discret. Mais tu es surtout un mari attentif, un véritable co-équipier, et un père remarquable. Pour tout cela, et pour la vie que nous construisons ensemble, je te dédie ce travail avec amour et reconnaissance.

Ma petite sœur,

Ma meilleure amie, ma confidente et aussi mon idole. Notre complicité et l'admiration que j'ai pour toi sont une source de force quotidienne. Ta présence est essentielle à mon équilibre.

Mes enfants, Zina et Khalil,

Vous êtes ma raison de vivre et mon bonheur absolu. Et oui, Zina, j'ai fini mon livre... et toi, Khalil, j'ai bien terminé mon « Sapitre ». Je vous aime.

Ma famille, beaux-parents et mes amis qui se reconnaîtront.

A la mémoire de Radia « MA MAWZA 1» qui est partie tellement tôt ; elle est quotidienne avec moi dans mes pensées et surtout dans mon cœur

A la mémoire de mon très cher oncle Fateh « 3amou» parti quand j'ai terminé ce manuscrit, nous étions si proches et complices ; il aurait été tellement heureux de me voir évoluer.

A la mémoire de tante Yamina qui a toujours prêté attention à mes études, depuis les cours de français en primaire qu'elle me donnait autour d'un bon lait chocolaté, elle aurait été si fière de moi.

A la mémoire de ma grand-mère dont la vie a été longue et si bien remplie de beaux moments ; j'espère avoir hérité de sa ténacité.

Remerciements

Je souhaite adresser mes sincères remerciements à mon directeur de thèse, monsieur le **Professeur Nourredine TOUMI** pour l'accompagnement attentif et bienveillant qu'il m'a accordé tout au long de ce travail. Son encouragement constant, fondé sur une relation de respect et de confiance, a été un moteur essentiel dans la conduite de cette recherche. En me confiant la responsabilité d'une unité aussi exigeante que la MPR pédiatrique, il m'a offert l'opportunité de grandir tant sur le plan scientifique que professionnel, dans un domaine requérant rigueur, engagement et sens des responsabilités. Sa disponibilité, la justesse de ses conseils et sa capacité à encourager l'initiative tout en maintenant une exigence scientifique élevée ont constitué un cadre de travail à la fois sécurisant et stimulant. Cette confiance accordée a renforcé mon implication et m'a permis de mener ce travail avec sérénité et détermination.

Je souhaite que cette collaboration, fondée sur des valeurs professionnelles partagées et un profond respect mutuel, puisse se poursuivre et s'inscrire dans la durée, au service de la MPR pédiatrique et de l'amélioration continue de la prise en charge des enfants en situation de handicap.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à **madame le Professeur Soumaya LEMAI**, Présidente du jury, pour l'attention bienveillante qu'elle a toujours portée à mon parcours. Ses encouragements constants, exprimés à l'occasion de nos rencontres lors de formations, de congrès ou d'évaluations pédagogiques, ont constitué un soutien précieux et motivant tout au long de mon cheminement professionnel et scientifique. Je la remercie tout particulièrement de me faire l'honneur de présider le jury de cette thèse et d'avoir accepté d'examiner ce travail. Sa présence confère à ce travail une valeur scientifique dont je suis profondément honorée.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à madame le **Professeur Halima ZEROUGA**, qui a bien voulu faire le déplacement depuis Oran pour évaluer ce travail. Sa présence au sein de ce jury m'honore tout particulièrement. Référence reconnue dans le domaine de la MPR pédiatrique, son expertise scientifique confère à ce travail une

valeur académique et professionnelle majeure. Je la remercie vivement pour l'intérêt porté à cette thèse et pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant d'en être examinatrice.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à monsieur le **Professeur Ahmed Lotfi BOUSTIL**, pédiatre, pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail. Je souhaite que cette thèse puisse constituer un point de départ pour de futures collaborations interdisciplinaires, et, à terme, contribuer à la construction d'un véritable pont entre la pédiatrie et la MPR au service d'une prise en charge plus coordonnée et efficiente des enfants. Je le remercie vivement pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'examiner ce travail.

Je tiens également à adresser mes sincères remerciements à madame le **Professeur Aicha OTMANE**, épidémiologiste, pour l'intérêt qu'elle porte à ce travail et pour le regard méthodologique et scientifique précieux qu'elle saura y apporter. J'espère que ce travail pourra ouvrir la voie à de futures collaborations, notamment en vue de la création d'un registre algérien de la paralysie cérébrale, outil indispensable pour mieux connaître l'épidémiologie nationale, structurer la recherche et améliorer la prise en charge des enfants concernés. Je la remercie vivement pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de participer à l'évaluation de ce travail.

REMERCIEMENTS PARTICULIERS

J'adresse un remerciement chaleureux à mon binôme et grande amie, **le Docteur Manel AOUISSI**. Ensemble, nous avons initié avec beaucoup d'enthousiasme la prise en charge des enfants, en partageant à la fois les exigences professionnelles et l'investissement émotionnel qu'impose la rééducation pédiatrique. Notre collaboration s'est construite dans l'amitié et la bienveillance. Nous avons partagé de nombreuses réussites, mais aussi traversé des moments difficiles, parfois marqués par la souffrance et la complexité des situations extrêmes que peut engendrer le handicap de l'enfant.

Un remerciement tout particulier à **Amar BENABDELKRIM**, qui a été présent à chaque étape de ce travail, toujours avec disponibilité et bonne humeur. Derrière chaque tour soigneusement comptabilisé au test de marche de six minutes, chaque explication de l'appui monopodal ou saut pieds joints du GMFM. Toujours prêt et vigilant, il a su anticiper les besoins les plus techniques comme les plus pratiques, jusqu'à avoir en permanence des piles de réserve pour le saturomètre.

À toute l'équipe du pavillon 8 à leur tête **Kaouther**, véritable pilier de cette unité et à « لبنات ». Vous avez été chacune d'un soutien précieux. Merci pour la bonne humeur quotidienne, la bienveillance constante, non seulement à mon égard mais surtout envers les enfants et leurs mamans, que vous accompagnez avec une attention et une douceur remarquables.

A toutes les kinésithérapeutes du plateau technique 10 ainsi qu'au personnel médical et paramédical de l'EHS Seraidi pour le soutien et les encouragements.

A monsieur **Abdesselem BRIHMAT** qui m'a aidé à la conception de ce manuscrit ; nos moments de travail ont été studieux et dans la bonne humeur.

Je remercie tout le personnel de la faculté de médecine, à leur tête monsieur le Doyen le professeur **Kamel AMOURA** pour toute leur aide et disponibilité.

Mes derniers remerciements et non les moindres vont à tous les parents et enfants qui ont accepté de participer à ce travail de recherche

SOMMAIRE

DEDICACES	II
REMERCIEMENTS	IV
LISTE DES TABLEAUX	XII
LISTE DES FIGURES	XVI
ABREVIATIONS	XVIII
INTRODUCTION	1
REVUE DE LA LITTERATURE	4
1 PARALYSIE CEREBRALE A TRAVERS L'HISTOIRE	5
2 DEFINITIONS DE LA PARALYSIE CEREBRALE	11
3 BASES EPIDEMIOLOGIQUES	14
3.1 ÉPIDEMIOLOGIE DESCRIPTIVE	14
3.2 PREVALENCE DE LA PARALYSIE CEREBRALE	15
3.3 ÉTIOLOGIES ET FACTEURS DE RISQUES DE LA PARALYSIE CEREBRALE	17
3.3.1 <i>Facteurs de risque prénatals</i>	18
3.3.1.1 Infections maternelles	18
3.3.1.2 Retard de la croissance fœtale	18
3.3.1.3 Facteurs génétiques	19
3.3.1.4 Affections chroniques maternelles	20
3.3.1.5 Grossesse multiple	20
3.3.2 <i>Facteurs de risque périnataux</i>	21
3.3.2.1 Naissance prématurée	21
3.3.2.2 Faible poids à la naissance	22
3.3.2.3 Asphyxie à la naissance	22
3.3.3 <i>Facteurs de risque acquis (postnataux)</i>	23
3.3.3.1 Les infections	23
3.3.3.2 La lésion cérébrale traumatique	23
3.3.3.3 Les accidents vasculaires cérébraux	23
3.3.3.4 L'ictère nucléaire	24
4 CARACTERISTIQUES CLINIQUES DE LA PARALYSIE CEREBRALE ET OUTILS DE	
CLASSIFICATION	25
4.1 DIAGNOSTIC	25
4.2 CARACTERISTIQUES CLINIQUES ET OUTILS D'ÉVALUATION	28

4.2.1	<i>Troubles moteurs dans la paralysie cérébrale : le tableau clinique</i>	28
4.2.1.1	Évaluation du tonus musculaire	29
4.2.1.1.1	Spasticité	29
4.2.1.1.1.1	Échelle d'Ashworth et échelle d'Ashworth modifiée	30
4.2.1.1.1.2	Échelle de Tardieu et échelle de Tardieu modifiée	31
4.2.1.1.2	Dystonie	33
4.2.1.1.3	Rigidité.....	34
4.2.1.2	Détermination de la force musculaire	35
4.2.1.3	Évaluation du contrôle moteur sélectif	37
4.2.1.4	Estimation des déformations statiques et des contractures musculaires.....	38
4.2.1.5	Évaluation de la posture et de l'équilibre.....	39
4.2.2	<i>Troubles associés</i>	40
4.2.3	<i>Classifications cliniques de la paralysie cérébrale</i>	43
4.2.3.1	Classification traditionnelle selon la topographie et la sémiologie neurologique.....	44
4.2.3.2	Corrélation de la classification clinique et de l'étiologie	46
4.3	OUTILS DE CLASSIFICATIONS FONCTIONNELLES	48
4.3.1	<i>Gross Motor Function Classification System</i>	48
4.3.2	<i>Manual Ability Classification System</i>	49
4.3.3	<i>Communication Function Classification System</i>	50
4.3.4	<i>Eating and Drinking Ability Classification System</i>	50
5	CAPACITES MOTRICES ET EFFICIENCE DE LA MARCHÉ CHEZ L'ENFANT PARALYSIE	
	CEREBRALE	55
5.1	FACTEURS INFLUENÇANT LES CAPACITES MOTRICES CHEZ L'ENFANT ATTEINT DE PARALYSIE	
	CEREBRALE	55
5.1.1	<i>Altérations neuromusculaires responsables de la faiblesse musculaire</i>	55
5.1.1.1	Mécanismes de dysfonction motrice neuronale	55
5.1.1.2	Altérations structurelles et qualitatives du muscle	56
5.1.2	<i>Adaptations cardiorespiratoires et réduction de la capacité aérobie</i>	57
5.1.2.1	Conséquences des facteurs musculaires et cardiorespiratoires sur l'efficacité de la marche chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale	58
5.1.2.2	Évaluation quantitative des capacités motrices chez les enfants paralysie cérébrale	59
5.2	ÉCHELLES D'ÉVALUATION DE LA FONCTION MOTRICE LES PLUS UTILISEES	60
5.2.1	<i>Le GMF-CS de Palisano</i>	60
5.2.2	<i>Functional Mobility Scale</i>	61
5.2.2.1	Ability to Locomote for Children	63
5.2.2.2	Évaluation Motrice Fonctionnelle Globale	64
5.2.2.3	Gillette Gait Index.....	65
5.2.3	<i>Évaluation des capacités motrices au sein d'échelles multifactorielles</i>	65

5.2.3.1	Mesure d'Indépendance Fonctionnelle Mômes.....	65
5.2.3.2	Pediatric Outcom Data Collection Instrument.....	67
5.2.3.3	Canadien Occupational Performance Measure.....	68
5.2.3.4	Pediatric Evaluation of disability Iventory.....	68
5.3	ÉVALUATIONS QUANTITATIVES DES CAPACITES DE MARCHES.....	68
5.3.1	<i>Vitesse de marche</i>	68
5.3.1.1	Test de marche de dix mètres.....	71
5.3.1.2	Timed Up and Go Test.....	72
5.3.1.3	Instrumentation de la vitesse de marche.....	73
5.3.2	<i>Endurance à la marche</i>	74
5.3.2.1	Test de marche de six minutes.....	75
5.3.2.2	Autres mesures de l'endurance à la marche.....	79
5.3.2.3	Mesures subjectives et approche écologique de l'endurance.....	79
5.3.3	<i>Effcience de la marche</i>	80
5.3.3.1	Mesure directe du coût énergétique : la calorimétrie indirecte.....	81
5.3.3.2	Indice de dépense énergétique.....	82
6	ENTRAINEMENT A LA MARCHÉ ET PARALYSIE CEREBRALE.....	84
6.1	PRINCIPES ET JUSTIFICATIONS.....	84
6.2	MODALITES D'ENTRAINEMENT A LA MARCHÉ.....	85
6.2.1	<i>Tapis roulant sans soutien du poids du corps (Treadmill training)</i>	85
6.2.2	<i>Tapis roulant avec soutien partiel du poids du corps</i>	87
6.2.3	<i>Marche assistée par robot (Robot-assisted gait therapy)</i>	89
6.3	PRATIQUE FONDEE SUR LES PREUVES ET ENTRAINEMENT A LA MARCHÉ CHEZ LE PARALYSE CEREBRALE	90
	PARTIE PRATIQUE.....	95
7	PATIENTS ET METHODES.....	96
7.1	LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	96
7.2	CADRE ET POPULATION.....	96
7.2.1	<i>Type de l'étude</i>	96
7.2.2	<i>Lieu et durée de l'étude</i>	96
7.3	ÉCHANTILLON ETUDIÉ.....	97
7.4	POPULATION A ETUDIER.....	97
7.4.1	<i>Critères d'inclusion</i>	97
7.4.2	<i>Critères de non inclusion</i>	97
7.5	RECUEIL DES DONNEES.....	98
7.6	DEROULEMENT DE L'ÉTUDE.....	98

7.6.1	<i>Evaluation des capacités locomotrices et fonctionnelle</i>	98
7.6.2	<i>Entraînement intensif à la marche sur tapis roulant</i>	99
7.6.3	<i>Équipe de recherche</i>	99
7.7	CRITERES DE JUGEMENT	100
7.8	TECHNIQUES STATISTIQUES EMPLOYEES	101
7.8.1	<i>Analyse descriptive</i>	101
7.8.2	<i>Analyse analytique</i>	101
7.8.3	<i>Seuil de significativité</i>	102
7.9	IMPLICATIONS ETHIQUES	102
8	RESULTATS	104
8.1	DONNEES RELATIVES AU PROFIL SOCIODEMOGRAPHIQUE	104
8.2	DONNEES RELATIVES A L'INTERROGATOIRE	108
8.3	DONNEES RELATIVES AU BILAN CLINIQUE.....	115
8.4	DONNEES RELATIVES A LA PRISE EN CHARGE.....	117
8.5	DONNEES RELATIVES AU PROTOCOLE D'ENTRAINEMENT A LA MARCHE.....	120
9	DISCUSSION	137
9.1	CONCERNANT LES DONNEES SOCIODEMOGRAPHIQUES	138
9.2	CONCERNANT LES RESULTATS ETIOLOGIQUES	140
9.2.1	<i>Facteurs prénataux</i>	140
9.2.2	<i>Facteurs périnataux</i>	141
9.2.3	<i>Facteurs postnataux</i>	142
9.3	CONCERNANT LES RESULTATS DU DEVELOPPEMENT NEUROMOTEUR	142
9.4	CONCERNANT LES RESULTATS DE L'IMAGERIE CEREBRALE ET EEG	143
9.5	CONCERNANT LES DONNEES DU BILAN CLINIQUE ET PRISE EN CHARGE EN MPR.....	145
9.5.1	<i>Fonction motrice et tableau clinique</i>	145
9.5.2	<i>Troubles associés neurologiques, sensoriels et cognitifs</i>	147
9.5.3	<i>Dispositifs orthétiques et aides techniques</i>	147
9.5.4	<i>Traitements médicamenteux et thérapeutiques anti spastiques</i>	148
9.5.5	<i>Prise en charge rééducative associée</i>	149
9.5.6	<i>Interventions chirurgicales orthopédiques</i>	150
9.6	CONCERNANT LES RESULTATS DU PROTOCOLE DE L'ENTRAINEMENT	150
9.6.1	<i>Réponse cardiovasculaire à l'entraînement</i>	150
9.6.2	<i>Endurance à la marche</i>	151
9.6.2.1	Niveau initial de la distance parcourue et gradient GMFCS	151

9.6.2.2	Effet global de l'entraînement sur l'endurance.....	152
9.6.2.3	Profils de réponse différenciés selon le GMFCS	152
9.6.2.4	Cinétique temporelle des gains	153
9.6.2.5	Distance manquante par rapport aux enfants typiques :.....	153
9.6.2.6	Relation entre endurance et type d'entraînement	154
9.6.3	<i>Vitesse de marche et accélération</i>	154
9.6.3.1	Niveau initial de vitesse et gradient GMFCS.....	154
9.6.3.2	Effet global de l'entraînement sur la vitesse confortable.....	155
9.6.3.3	Effet de l'entraînement sur la vitesse confortable selon le GMFCS	155
9.6.3.4	Vitesse rapide et capacité d'accélération	156
9.6.3.5	Ratio vitesse rapide / vitesse confortable	156
9.6.3.6	Gain de vitesse selon le type de l'entraînement et cohérence avec la littérature	157
9.6.4	<i>Indice de dépense énergétique et efficacité de la marche</i>	158
9.6.4.1	Inefficacité locomotrice de notre échantillon.....	158
9.6.4.2	Evolution temporelle de l'indice de dépense énergétique et adaptation à l'entraînement .	158
9.6.4.3	Analyse stratifiée de l'IDE selon le GMFCS	159
9.6.5	<i>Intensité de l'entraînement et fréquence cardiaque de réserve</i>	160
9.6.6	<i>Capacités locomotrices évaluées par la dimension E du GMFM et performance de marche perçue (ABILOCO-Kids).....</i>	161
9.6.6.1	Effet global du protocole sur les capacités locomotrices (GMFM – E)	161
9.6.6.2	Analyse stratifiée de la réponse locomotrice selon le GMFCS	162
9.6.6.3	Performance locomotrice perçue (ABILOCO-Kids)	163
9.6.6.4	Mise en perspective avec la littérature	163
9.6.7	<i>Analyse des corrélations entre paramètres locomoteurs, énergétiques et fonctionnels</i>	164
9.6.7.1	Corrélation distance et vitesse confortable.....	164
9.6.7.2	Corrélation négative de l'IDE avec la distance et la vitesse.....	164
9.6.7.3	Corrélations des changements (Δ) et spécificité du profil GMFCS III	165
9.6.7.4	Absence de corrélation entre changements locomoteurs et scores (GMFM, ABILOCO)	166
9.6.8	<i>Rôle de l'intensité du protocole.....</i>	167
9.7	LIMITES DE L'ETUDE.....	167
10	CONCLUSION	169
	BIBLIOGRAPHIE	174
	ANNEXES.....	190

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Signes précoces de la PC [54]	26
Tableau 2: Classifications traditionnelles de la PC [121].....	45
Tableau 3: Cinq niveaux des système de classification fonctionnelle GMFCS, MACS, CFCS et EDACS selon Paulson 2017 [125]	51
Tableau 4: Niveaux du GMFCS	60
Tableau 5: Coût énergétique de la marche	83
Tableau 6: Évaluation de l'effet d'un TT VS marche à l'extérieur sur les capacités motrices [199].....	86
Tableau 7: Diagramme de forêt de la revue de Booth [212].....	91
Tableau 8: Répartition des enfants selon le sexe	104
Tableau 9 : Répartition des enfants selon l'Age	104
Tableau 10: Répartition des enfants selon le milieu d'habitation.....	104
Tableau 11: Répartition des enfants selon le lieu d'habitation	105
Tableau 12: Répartition des enfants selon le tuteur légal.....	105
Tableau 13: Répartition des enfants selon la couverture par une assurance maladie. 105	
Tableau 14: Répartition des enfants assurés selon le taux de couverture de l'assurance maladie (n = 36).....	106
Tableau 15: Répartition des enfants selon la profession du père.....	106
Tableau 16: Répartition des enfants selon la profession de la mère.....	107
Tableau 17: Répartition des enfants selon les aidants principaux	107
Tableau 18: Répartition des enfants selon les aidants secondaires impliqués dans la prise en charge	107
Tableau 19: Répartition des enfants selon le statut de scolarisation.....	108
Tableau 20: Répartition des enfants selon le niveau scolaire (n=36).....	108
Tableau 21: Répartition des enfants selon la consanguinité parentale	108
Tableau 22: Répartition des enfants selon un déficit neurologique chez les parents... 109	
Tableau 23: Répartition des enfants selon l'état de santé de la fratrie	109
Tableau 24: Répartition des enfants selon les antécédents similaires familiaux	109
Tableau 25: Répartition des enfants selon l'issu d'une grossesse gémellaire	109

<i>Tableau 26: Répartition des enfants selon la présence d'une infection maternelle au cours de la grossesse</i>	<i>110</i>
<i>Tableau 27: Répartition des enfants selon la présence d'une menace d'accouchement prématuré</i>	<i>110</i>
<i>Tableau 28: Répartition des enfants selon le terme de la naissance</i>	<i>110</i>
<i>Tableau 29: Répartition des enfants selon une réanimation à la naissance</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 30: Répartition des enfants selon les troubles de l'alimentation néonatale ..</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 31: Répartition des enfants selon la souffrance à l'accouchement</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 32: Répartition des enfants selon le score d'Apgar à 5min</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 33: Répartition des enfants selon le diagnostic étiologique retenu</i>	<i>112</i>
<i>Tableau 34: Répartition des enfants selon l'âge des acquisitions motrices</i>	<i>112</i>
<i>Tableau 35: Répartition des enfants selon l'âge d'acquisition de la station assise.....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 36: Répartition des enfants selon l'âge d'acquisition de la marche</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 37: Répartition des enfants selon la moyenne d'âge des acquisitions motrices</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 38: Réalisation des enfants selon la réalisation d'un scanner</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 39: Répartition des enfants selon les résultats scanner (n=4)</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 40: Répartition des enfants selon la réalisation d'une IRM cérébrale</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 41: Répartition des enfants selon les résultats de l'IRM (n = 38).....</i>	<i>114</i>
<i>Tableau 42: Répartition des cas selon la réalisation d'EEG.....</i>	<i>115</i>
<i>Tableau 43: Répartition des enfants selon le niveau fonctionnel GMFCS</i>	<i>115</i>
<i>Tableau 44: Répartition des enfants selon le tableau clinique.....</i>	<i>115</i>
<i>Tableau 45: Répartition des enfants selon les troubles sensoriels et neurologiques associés</i>	<i>116</i>
<i>Tableau 46: Répartition des enfants selon les troubles de la communication et de la cognition</i>	<i>116</i>
<i>Tableau 47: Répartition des enfants selon l'utilisation des orthèses de posture</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 48: Répartition des enfants selon l'utilisation des orthèses de marche</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 49: Répartition des enfants selon l'utilisation d'un chaussage orthopédique et talonnettes.....</i>	<i>118</i>
<i>Tableau 50: Répartition des enfants selon l'utilisation des aides à la marche.....</i>	<i>118</i>

<i>Tableau 51: Répartition des enfants selon les traitements médicamenteux et interventions spastiques</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 52: Répartition des enfants selon la prise en charge rééducative associée....</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 53 : Répartition des enfants selon les antécédents chirurgicaux orthopédiques</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 54 : Résultats des données anthropométriques</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 55 : Fréquence cardiaque avant et après le 6MWT selon le niveau GMFCS...</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 56 : Variation de la FC induite par l'effort (ΔFC) selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>121</i>
<i>Tableau 57 : Évolution de la variation de la fréquence cardiaque (ΔFC) au cours du protocole selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>121</i>
<i>Tableau 58 : Distance parcourue au 6MWT selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>122</i>
<i>Tableau 59 : Évolution de la distance parcourue (Δ Distance) selon le GMFCS.....</i>	<i>123</i>
<i>Tableau 60 : Taille de l'effet du gain de distance de marche selon le GMFCS.....</i>	<i>124</i>
<i>Tableau 61 : Évolution de la distance manquante par rapport aux normes de marche</i>	<i>125</i>
<i>Tableau 62 : Taille de l'effet de la réduction de la distance manquante selon le GMFCS</i>	<i>126</i>
<i>Tableau 63 : Intervalles de vitesse de marche au 6MWT selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>126</i>
<i>Tableau 64 : Évolution de la vitesse de marche au 6MWT au cours du protocole</i>	<i>127</i>
<i>Tableau 65 : Vitesse moyenne de marche au 6MWT selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>127</i>
<i>Tableau 66 : Taille de l'effet des modifications de la vitesse de marche selon le niveau GMFCS</i>	<i>128</i>
<i>Tableau 67 : Évolution de l'IDE au cours du protocole</i>	<i>129</i>
<i>Tableau 68 : Évolution de l'IDE selon le GMFCS</i>	<i>129</i>
<i>Tableau 69 : Effet du protocole sur l'IDE selon le GMFCS</i>	<i>130</i>
<i>Tableau 70 : Vitesse de marche rapide au 10MWT au cours du protocole.....</i>	<i>131</i>
<i>Tableau 71 : Évolution de la vitesse de marche rapide au 10 MWT au cours du protocole</i>	<i>131</i>
<i>Tableau 72 : Évolution de la vitesse de marche rapide au 10 MWT selon le niveau GMFCS</i>	<i>131</i>
<i>Tableau 73 : Évolution du ratio d'accélération fonctionnelle (vitesse rapide / vitesse confortable) selon le GMFCS.....</i>	<i>132</i>

<i>Tableau 74 : Valeurs cibles de la fréquence cardiaque de réserve (65 % FCR) au cours du protocole selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>133</i>
<i>Tableau 75 : Vitesse moyenne du tapis roulant utilisée lors des séances d'entraînement selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>133</i>
<i>Tableau 76 : Score GMFM avant et après le protocole d'entraînement</i>	<i>133</i>
<i>Tableau 77 : Évolution du score GMFM entre le début et la fin du protocole.....</i>	<i>134</i>
<i>Tableau 78 : Évolution du score GMFM avant et après le protocole selon le niveau GMFCS</i>	<i>134</i>
<i>Tableau 79 : Évolution du score ABILOCO-KIDS entre S0 et S8 selon le niveau GMFCS</i>	<i>134</i>
<i>Tableau 80 : Corrélations entre distance parcourue, vitesse confortable et IDE avant (S0) et après (S8) le protocole</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 81 : Corrélations des changements entre distance parcourue et indice de dépense énergétique selon le GMFCS ($\Delta = S8 - S0$)</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 82 : Corrélations entre les changements des paramètres fonctionnels et locomoteurs ($\Delta = S8 - S0$)</i>	<i>136</i>

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Grunewald a peint Saint Cyriacus "exorcisant" la fille de l'Empereur Dioclétien [12].....	6
Figure 2: L'enfant avec le « club-foot » (Louvre, Paris) J. De Ribera (1591–1652) [8]	6
Figure 3: Photo de William John Little (1810-1894) [13].....	7
Figure 4: Photo de Sir William Osler.....	8
Figure 5: First photography of a child with the symptoms of spastic diplegia by Osler [8]	8
Figure 6: Estimations de la prévalence de certains troubles du développement chez les enfants de moins de 20 ans en 2019 par le GBD Study Group [23].....	14
Figure 7: Tendances de la prévalence à la naissance de la PC Selon McIntyre et al [1] 16	
Figure 8: Tendances de la prévalence à la naissance de la PC pré-/périnatale des registres ACPR et SCPE combinés [1]	16
Figure 9: Fréquence des troubles associés à la PC [113]	43
Figure 10: Classification en arborescence en sous type de la PC [25]	46
Figure 11: Tableau clinique de la PC et les régions cérébrales affectées [122]	48
Figure 12: Functional Mobility Scale (FMS) [152].....	62
Figure 13: Corrélation entre le GMFM et le questionnaire ABILOCO-Kids [155]	63
Figure 14: Version arabe de l'ABILOCO-Kids [156]	64
Figure 15: Diagramme radar de la MIF Mômes	67
Figure 16: Dispositif du 10MWT sur un parcours de 14 mètres	72
Figure 17: TUG test	73
Figure 18: Réseau de données probantes sur l'analyse de la vitesse de la marche [7]. .	93
Figure 19: Feux tricolores de Novak [176].....	94
Figure 20 : Evolution du ΔFC selon le GMFCS	122
Figure 21 : Distribution de la distance parcourue au 6MWT selon le niveau GMFCS à l'inclusion (S0) et après huit semaines d'entraînement (S8).	123
Figure 22 : Distribution des variations individuelles de la distance parcourue au 6MWT (Δ distance= S8 – S0) selon le niveau GMFCS.....	124
Figure 23 : Evolution de la distance manquante à S0 et à S8 du protocole selon le GMFCS	125

<i>Figure 24 : Évolution de la vitesse de marche confortable au 6MWT selon le niveau GMFCS.</i>	<i>128</i>
<i>Figure 25 : Évolution de l'IDE entre S0 et S8 selon le niveau GMFCS.....</i>	<i>130</i>
<i>Figure 26 : Evolution du Ratio vitesse rapide/confortable selon le GMFCS.....</i>	<i>132</i>
<i>Figure 27 : Relation entre les changements de distance parcourue au 6MWT et de l'IDE ($\Delta = S8 - S0$), selon le niveau GMFCS</i>	<i>136</i>

ABREVIATIONS

10MWT	Test de marche de 10 mètres
2MWT	Test de marche de deux minutes
6MWT	Test de marche de six minutes
ABILOCO-Kids	Ability to Locomote for Children
ACPR	Registre australien de la paralysie cérébrale
AQM	Analyse quantifiée de la marche
ATS	American Thoracic Society
AVC	Accidents vasculaires cérébraux
BADS	Barry-Albright Dystonia Scale
CCI	Coefficients de corrélation intraclasse
CIM	Classification Internationale des Maladies
CIMT	Constraint-Induced Movement Therapy
CMS	Contrôle moteur sélectif
DET	Duncan Ely Test
DIS	Dyskinesia Impairment Scale
DSM	Manuel diagnostique et statistique des troubles Mentaux
EA	Echelle d'Ashworth
EAM	Echelle d'Ashworth modifiée
EASE	Early Activity Scale for Endurance
EMG	Electromyographie
ET	Echelle de Tardieu
ETM	Echelle de Tardieu modifiée
FC	Fréquence cardiaque
FMS	Functional Mobility Scale
FWS	Fast Walking Speed
GBD	Global Burden of Disease
GGI	Gilette Gait Index
GMFCS	Gross Motor Function Classification System
GMFM	Evaluation motrice fonctionnelle globale
HABIT	Hand-Arm Bimanual Intensive Training
HHD	Hand-held dynamometer
HIC	Pays à revenu élevé
IC	Intervalle de confiance
IDE	Indice de dépense énergétique
IRM	Imagerie par résonance magnétique
LPVK	Leucomalacie périventriculaire kystique
MACS	Manual Ability Classification System
MCID	Minimal Clinically Important Difference
MDC	Changement minimal détectable
MIF	Mesure D'Indépendance Fonctionnelle

MPR	Médecine physique et réadaptation
MRICS	Système de classification de l'imagerie par résonance magnétique,
ODD	Objectifs de Développement Durable
OMS	Organisation mondiale de la santé
OR	Odds ratio
PBS	Pediatric Balance scale
PBWSTT	Entraînement sur tapis roulant avec soutien partiel du poids du corps
PC	Paralysie cérébrale
PODCI	Pediatric Outcom Data Collection Instrument
PRFI	Pays à revenu faible et intermédiaire
PWS	Preferred Walking Speed
RAGT	Marche assistée par robot
RCF	Retard de la croissance fœtale
RR	Risque relatif
SA	Semaines d'aménorrhée
SCALE	Selective Control Assessment of the Lower Extremity
SCPE	Surveillance de la paralysie cérébrale en Europe
TDAH	Trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité
TT	Entraînement sur tapis roulant sans soutien partiel du poids corporel
TUG	Timed Up and Go
VO ₂	Consommation d'oxygène
VO ₂ max	Consommation maximale d'oxygène

INTRODUCTION

La paralysie cérébrale (PC) constitue la première cause de handicap moteur d'origine non progressive chez l'enfant. Sa prévalence mondiale est estimée à 1,6 pour 1 000 naissances vivantes, avec des variations selon les régions et le niveau de développement des systèmes de soins. Elle regroupe un ensemble hétérogène de troubles permanents du développement de la posture et du mouvement, responsables de limitations fonctionnelles variables, consécutifs à une anomalie du cerveau immature survenue au cours des périodes prénatale, périnatale ou postnatale précoce. Par son caractère chronique et son retentissement fonctionnel durable, la PC représente un enjeu majeur de santé publique, tant sur le plan médical que social, éducatif et économique [1].

Au cours des dernières décennies, la compréhension de la PC a connu une évolution conceptuelle significative. Initialement attribuée quasi exclusivement à des événements périnataux, notamment l'asphyxie à la naissance, la PC est aujourd'hui reconnue comme une affection à étiologie multifactorielle complexe, impliquant des facteurs prénataux, périnataux et postnataux, ainsi que des déterminants génétiques et environnementaux intriqués. Cette évolution des connaissances a conduit à une redéfinition des stratégies diagnostiques, pronostiques et thérapeutiques, fondées sur une approche plus intégrative.

Parallèlement à ces avancées conceptuelles, les pratiques de réadaptation fonctionnelle ont profondément évolué. Les approches traditionnelles, longtemps dominées par des techniques peu standardisées et faiblement étayées scientifiquement, tendent progressivement à être supplantées par des interventions reposant sur les principes de la médecine fondée sur les preuves « evidence-based practice ». Ces nouvelles stratégies thérapeutiques privilégient des programmes intensifs, structurés, orientés vers des objectifs fonctionnels mesurables, et visant à exploiter les capacités de plasticité cérébrale, particulièrement marquées durant l'enfance.

La marche occupe une place centrale dans la prise en charge des enfants atteints de PC. Elle constitue un déterminant majeur de l'autonomie fonctionnelle, de la participation sociale et de la qualité de vie. Toutefois, même chez les enfants présentant une capacité de marche

acquise (GMFCS I à III), on observe fréquemment une altération progressive des performances locomotrices. Les études longitudinales montrent que la distance parcourue au test de marche de six minutes est réduite de 20 à 50 % par rapport aux enfants typiquement développés, avec une diminution proportionnelle à la sévérité fonctionnelle. De même, la vitesse de marche est en moyenne réduite de 30 à 60 %, tandis que le coût énergétique de la marche peut être augmenté de 60 à 300 %, traduisant une inefficience locomotrice marquée [2-5].

Chez l'enfant atteint de PC, la réduction de l'activité physique résulte de multiples facteurs, incluant des limitations fonctionnelles intrinsèques, des contraintes environnementales, un manque d'accessibilité aux structures adaptées, ainsi que des freins psychosociaux et organisationnels. Ce déficit d'activité physique entretient un cercle vicieux de déconditionnement à l'effort, conduisant à une aggravation des limitations motrices, à une restriction de la participation sociale et, à terme, à une altération de la qualité de vie. La prévention de ce déconditionnement constitue ainsi un objectif prioritaire de la prise en charge rééducative.

Dans ce contexte, l'entraînement à la marche apparaît comme une stratégie thérapeutique centrale. L'entraînement à la marche sur tapis roulant permet une répétition intensive et standardisée du schéma locomoteur et une sollicitation contrôlée du système cardio-respiratoire. Les méta-analyses récentes rapportent que ce type d'entraînement permet des gains moyens de 20 à 40 mètres au test de marche de six minutes, des augmentations de vitesse de 0,05 à 0,15 m/s, et des améliorations significatives de l'efficacité de la marche, avec des tailles d'effet généralement faibles à modérées, mais variables selon le niveau GMFCS et la densité du protocole [6, 7].

Toutefois, la majorité de ces travaux ont été réalisés dans des contextes de soins disposant de ressources humaines et matérielles spécifiques, et leurs résultats ne peuvent être transposés sans précaution à d'autres contextes pratiques.

En Algérie, la PC demeure une pathologie encore insuffisamment documentée sur le plan scientifique. Les données épidémiologiques et cliniques locales sont rares, et les études interventionnelles demeurent limitées. Cette carence de données nationales constitue un

frein à l'élaboration de protocoles de prise en charge standardisés, adaptés aux réalités cliniques, sociales et organisationnelles du pays. Elle souligne la nécessité de travaux de recherche visant à évaluer l'efficacité d'interventions rééducatives fondées sur les preuves dans le contexte algérien.

La présente thèse s'inscrit dans cette perspective dont l'objectif principal est de démontrer l'apport d'un entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel pendant huit semaines à raison de cinq fois par semaine, sur les capacités locomotrices des enfants atteints de PC marchants (GMFCS I, II et III), pris en charge à l'EHS Seraïdi. Les objectifs secondaires sont de décrire le profil épidémio-clinique de la population étudiée, de dégager des profils locomoteurs fonctionnels chez les enfants atteints de PC ambulants, fondés sur l'association de l'endurance à la marche, de l'efficacité énergétique et de la réserve d'adaptation ; d'identifier les profils de réponse à l'entraînement et les sous-groupes GMFCS (I, II et III) tirant le plus grand bénéfice du programme et enfin de proposer plusieurs pistes de recommandations cliniques, qui devront être confirmées par des études contrôlées de plus grande envergure.

REVUE DE LA LITTERATURE

1 PARALYSIE CEREBRALE A TRAVERS L'HISTOIRE

La PC regroupe des troubles du développement moteur et postural dus à une lésion cérébrale non progressive survenue pendant la période fœtale, périnatale ou néonatale. Bien que la terminologie et la compréhension étiologique aient évolué, l'existence de troubles assimilables à la PC est documentée dès l'Antiquité. L'étude historique de la PC éclaire à la fois l'origine des concepts nosographiques, les débats étiologiques et l'émergence progressive d'outils diagnostics et de classifications standardisées indispensables à la recherche et à la prise en charge contemporaine.

Les indices de présence d'affections motrices infantiles apparaissent dans les iconographies et les sources littéraires anciennes, et ce depuis les V^{ème} et VI^{ème} siècles avant JC. Hippocrate a été le premier à parler de l'association entre la prématurité, l'infection congénitale, le stress prénatal et la genèse des lésions cérébrales, dans son ouvrage « *Of the Seven-Month Foetus and Of the Eight-Month Foetus* » [8].

Des représentations égyptiennes et des observations paléo-pathologiques (momies, sculptures) ont été interprétées comme compatibles à la fois avec la PC et d'autres affections neuromusculaires. Cependant, l'absence de documentation clinique détaillée rend ces diagnostics rétrospectifs supposés plutôt que certains [9].

À l'époque romaine, l'historien Suétone (v. 70-130 apr. J.-C.) parle des nombreux problèmes de santé de l'empereur dans le manuscrit « *The twelve cesar* », ainsi que Robert Graves dans son roman de 1934 qui décrit la tête de l'empereur *Tiberius Claudius Nero* comme ayant un « *tremulum* », qui signifie en latin tremblement, insinuant des tics nerveux. Pearce, dans son article « *The emperor with the shaking head* », a diagnostiqué l'empereur paralytique cérébral dans sa forme athétosique, et a en outre noté que l'intelligence élevée de l'empereur est cohérente avec cette variation de la PC. Dans un article plus récent intitulé « *A neurological mystery from history: the case of Claudius Caesar* », Murad réexamine les anciennes sources historiques et conclut qu'avec la PC, un autre diagnostic probable des problèmes neurologiques de l'empereur pourrait être le syndrome de Tourette [8, 10, 11].

Ce n'est que plusieurs siècles plus tard que la communauté médicale a commencé à voir des handicaps physiques chez des personnes représentées dans des peintures. Vers 1510 à

Chapitre 1: Paralyse cérébrale à travers l'histoire

Francfort, Matthias Grunewald a peint Saint Cyriacus qui était représenté en train d'exorciser la fille de l'empereur Dioclétien, mais la peinture la plus impressionnante représentant un handicap physique a cependant été réalisée à Naples en 1642 par *Jusepe de Ribera* : sa peinture "The Clubfoot" d'un garçon atteint d'une hémiplégié gauche spastique, se trouve maintenant au Louvre à Paris.



Figure 1: Grunewald a peint Saint Cyriacus "exorcisant" la fille de l'Empereur Dioclétien [12]



Figure 2: L'enfant avec le « club-foot » (Louvre, Paris) J. De Ribera (1591–1652) [8]

Chapitre 1: Paralyse cérébrale à travers l'histoire

L'histoire de la PC au XIX^{ème} siècle a été marquée par William John Little (1810-1894), le fondateur de la chirurgie orthopédique en Angleterre ; première personnalité à s'intéresser à la PC. En 1843, Little a donné neuf conférences publiées dans le Lancet intitulées « *Deformities of the Human Frame* ». Il a décrit une déformation particulière « *une rigidité et des spasmes ressemblant au tétanos* » affectant les nouveau-nés qui souffrent d'asphyxie à la naissance et qui n'a jamais été décrite ailleurs. Après de nombreuses modifications et l'ajout de plusieurs illustrations et histoires de cas détaillés, les conférences ont donné naissance à la monographie de 1853 « *On the Nature and Treatment of the Deformities of the Humain Frame* ». Dans ce document, Little a décrit l'état de diplégie spastique qu'il attribuait à la prématurité et à l'asphyxie à la naissance. À la fin du XIX^{ème} siècle, la PC était largement connue sous le nom de « maladie de Little » [8, 13, 14].

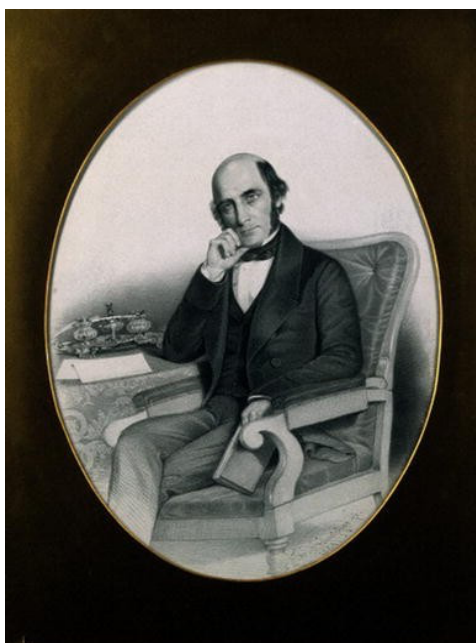


Figure 3: Photo de William John Little (1810-1894) [13]

En 1888, William Osler (1849-1919), professeur canadien de médecine clinique en Pennsylvanie, fut la deuxième grande figure (après Little) à s'intéresser à la PC. Il a rédigé un ouvrage intitulé « *The Cerebral Palsies of Children* » ; où il a examiné 151 cas, les classant par localisation et les corrélant avec la pathologie neuroanatomique [15].



Figure 4: Photo de Sir William Osler



Figure 5: First photography of a child with the symptoms of spastic diplegia by Osler [8]

Quelques années plus tard, Sigmund Freud (1856-1939) a écrit plusieurs volumes intitulés "Cerebral palsy"; il était la troisième personnalité majeure à avoir contribué à la compréhension de la PC au cours du XIXème siècle. Sa contribution était tripartite : (1) il a développé un système de classification clinique qui est encore utilisé aujourd'hui et fondamentalement inchangé ; (2) il a décrit la relation entre l'emplacement de la lésion et le degré de contracture ; plus la lésion est superficielle, plus il est probable qu'elle affecte les

membres inférieurs ; (3) il a été le premier à élaborer un système de classification basé sur l'étiologie de la PC : congénitale (antépartum), acquise lors de la naissance (intrapartum) et acquise après la naissance (postpartum) [16].

En Angleterre, MacKeith et Polani ont convoqué le Little Club de la PC en 1959, suivi par Bax en 1964 et Rosenbaum en 2005 qui ont publié après de nombreuses révisions une définition de la PC qui a été adoptée par de nombreux registres (Européen, Australien) de surveillance ayant vu le jour pour uniformiser le recensement mais aussi la prise en charge des patients [17-19].

A la fin du XXème siècle et au début du XXIème siècle émergent les méthodes de rééducation moderne qui sont qualifiées de thérapies intensives tel que la thérapie motrice par contrainte induite (Constraint-Induced Movement Therapy : CIMT), l'entraînement intensif bimanuel (Hand-Arm Bimanual Intensive Training : HABIT), l'entraînement intensif à la marche et bien d'autres qui ont fait basculer la prise en charge de la PC vers une rééducation basée sur des objectifs SMART en utilisant la répétition de la tâche, le biofeedback, la motivation et la récompense qui représentent les grands principes de la neuroplasticité. Des progrès ont aussi vu le jour dans le domaine de la chirurgie neuro-orthopédique avec l'avènement de la pompe à baclofène, la rhizotomie sélective ainsi que la chirurgie multi-site et d'autres prises en charges multidisciplinaires. L'avènement de nouvelles techniques d'imagerie a aussi permis une approche révolutionnaire dans le diagnostic de la PC. La gamme d'imagerie possible pour évaluer la pathologie cérébrale a évolué depuis le premier scanner à tomographie par émission monophotonique jusqu'à l'ajout de l'imagerie par résonance magnétique (IRM), de l'IRM fonctionnelle, de l'IRM fœtale, ainsi que de la tomographie par émission de positons et de la tomographie par émission monophotonique. Le chemin vers la compréhension exacte et claire de la PC nécessite des efforts supplémentaires notamment dans la recherche étiopathogénique qui garde certains mystères mais aussi dans la mise en place de véritable gold standards de prévention [8].

L'histoire de la PC illustre la progression d'un phénomène observé depuis l'Antiquité vers une entité nosographique contemporaine, indissociable des progrès en neuropathologie, imagerie, épidémiologie et rééducation. Les contributions de Little, Osler et Freud ont jeté les bases conceptuelles ; les découvertes du XX^e siècle (imagerie, classifications fonctionnelles, registres, génétiques) ont redéfini les priorités cliniques et scientifiques. Comprendre cette

évolution est essentiel pour situer les avancées actuelles et orienter les futures stratégies diagnostiques et thérapeutiques.

2 DEFINITIONS DE LA PARALYSIE CEREBRALE

La PC est un trouble neurodéveloppementale qui débute dès la petite enfance et persiste tout au long de la vie. La définir a toujours été une tâche difficile, mais nécessaire, dans le but d'identifier explicitement quels patients doivent être inclus ou exclus, permettant ainsi un dénombrement des cas dans une population.

La première définition structurée revient à William John Little en 1861, dans son ouvrage « *On the Condition of spastic rigidity of the limbs of newborn children* » ; il a clairement indiqué que la cause de la spasticité et de la paralysie était souvent une lésion cérébrale survenue pendant la petite enfance, et plus précisément une naissance prématurée et une asphyxie périnatale ; il a également noté que les troubles du comportement et l'épilepsie n'étaient que des complications occasionnelles et n'étaient pas au cœur de la maladie [14].

Ce sont ensuite Mac Keith et Polani en 1959 puis Bax en 1964, du Little Club au Royaume-Uni qui ont apportés leurs pierres à l'édifice, en faisant progresser les concepts et les descriptions de la PC. Ils ont décrit la PC comme « *un trouble permanent mais non immuable du mouvement et de la posture, apparaissant dans les premières années de la vie et dû à un trouble non progressif du cerveau, résultant d'une anomalie pendant son développement* ». La classification du Little Club utilise le terme « spastique » avec les sous-catégories suivantes : hémiplégie, double hémiplégie et diplégie ; les autres catégories étaient la PC dystonique, choréo-athétosique, mixte, ataxique et atonique. Bax, à des fins pratiques « *a exclu les troubles de courte durée, dus à une maladie progressive ou uniquement à une déficience mentale* » [17, 18].

La recherche d'une définition unique et internationalement acceptée de la PC se poursuit ; les techniques modernes d'imagerie cérébrale ont apporté une nouvelle vision sur la nature des lésions cérébrales sous-jacentes, et les études sur la neurobiologie et la pathologie associées au développement cérébral ont permis d'approfondir l'exploration des mécanismes étiologiques. Il est désormais reconnu que l'évaluation du degré de restriction d'activité fait partie de l'évaluation de la PC et que les personnes sans restriction d'activité ne devraient pas être incluses dans la rubrique PC. De plus, les définitions précédentes n'ont pas accordé suffisamment d'importance aux troubles neurodéveloppementaux non moteurs de la performance et du comportement qui accompagnent couramment la PC, ni à la progression

des déficiences musculo-squelettiques qui surviennent souvent avec l'âge. Un consensus a été trouvé en 2004, lors du Workshop international qui s'est tenu dans le Maryland « *International Workshop on Definition and Classification of Cerebral Palsy* » redessinant la définition comme suit : « *La PC décrit un ensemble de troubles permanents du développement du mouvement et de la posture, entraînant une limitation des activités, qui sont attribués à des perturbations non progressives survenues dans le cerveau en développement du fœtus ou du nourrisson. Les troubles moteurs de la PC sont souvent accompagnés de troubles de la sensation, de la perception, de la cognition, de la communication, du comportement, d'épilepsie et de problèmes musculo-squelettiques secondaires.* » ; elle fut adoptée par de nombreux registres [20].

En 2007, Rosenbaum a fourni des éléments supplémentaires pour réviser la définition précédente de la PC mettant en évidence les déficiences associées, afin de souligner l'idée qu'une approche globale multidimensionnelle de la PC et que la prise en charge en découlant ne pouvait être que multidisciplinaire. Des annotations des différents éléments de la définition précédente ont été ajoutées, expliquant les termes et la réflexion qui sous-tend leurs choix ; de plus des clarifications ont été apportées sur le type et la nature des anomalies motrices et de leur répercussions fonctionnelles, des troubles associés, des résultats de la neuroimagerie, ainsi que les causes et leurs moments de survenus [21].

Dix ans plus tard en 2017, la PC a été identifiée par la plupart des sociétés savantes comme étant un terme générique, et l'utilité de conserver ce terme a été longuement discutée, car cette étiquette n'informe ni sur l'étiologie, ni sur la gravité, ni même sur le pronostic. Cependant, il a été convenu de le conserver car à une époque de data-base, il est d'une commodité de garder un terme de recherche bien reconnu et compris.

Pour résumer, toutes les définitions ont quatre éléments en commun : (1) des troubles du mouvement ou de la posture entraînant une déficience motrice qui (2) se développent très tôt dans la vie (3) et sont attribués à une anomalie cérébrale, et (4) bien que les signes cliniques changent avec le développement de l'enfant, l'anomalie cérébrale ne disparaît ni ne se détériore. Ces quatre éléments montrent clairement que la PC est définie par une description clinique plutôt que par des critères biologiques, étiologiques ou anatomiques objectifs ; si ce n'est que la pathologie primaire responsable est située dans le cerveau et non dans d'autres éléments contribuant à la fonction motrice tels que la moelle épinière ou les

muscles. Ainsi, la PC ne doit pas être considérée comme un diagnostic mais comme une étiquette utile pour regrouper les patients susceptibles de bénéficier de stratégies de prise en charge communes, un terme générique pour de nombreux diagnostics pathologiques et étiologiques différents, dont tous ne sont pas encore connus [22].

3 BASES EPIDEMIOLOGIQUES

3.1 Épidémiologie descriptive

Les Nations Unies ont mis en place des dispositions dans le cadre des Objectifs de Développement Durable (ODD), en vue de promouvoir l'éducation inclusive des personnes handicapées, ces dispositions ont suscité un intérêt certain pour la détermination de la prévalence des enfants et des adolescents présentant des troubles du développement à l'échelle mondiale ; ces objectifs sont largement adoptés, notamment dans les pays à revenu faible et intermédiaire (PRFI), comme l'agenda mondial prioritaire pour améliorer la santé et le bien-être de la population d'ici 2030. L'étude du groupe Global Burden of Disease (GBD) publiée par l'Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) en 2019 est actuellement la seule base de données sur la santé fournissant des estimations de la prévalence mondiale, régionale et nationale des handicaps spécifiques chez les enfants et les adolescents, selon le Manuel diagnostique et statistique des troubles Mentaux (DSM), de l'American Psychiatric Association (APA) ou la Classification Internationale des Maladies (CIM) de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'étude intègre la PC dans les handicaps spécifiques à côté du trouble déficitaire de l'attention/hyperactivité (TDAH), des troubles du spectre autistique, de la déficience intellectuelle, de l'épilepsie, de la perte auditive et la perte de la vue [23].

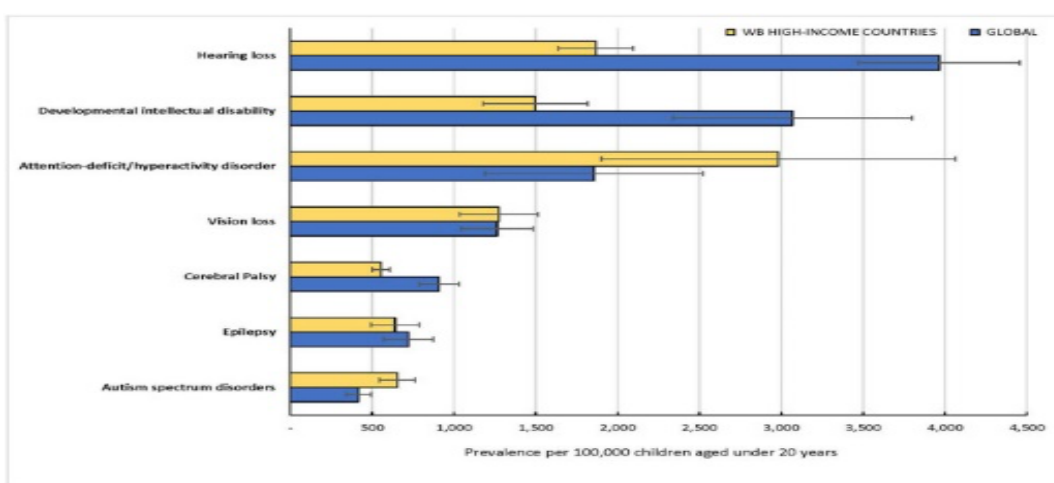


Figure 6: Estimations de la prévalence de certains troubles du développement chez les enfants de moins de 20 ans en 2019 par le GBD Study Group [23]

3.2 Prévalence de la paralysie cérébrale

L'harmonisation dans la façon de décrire la PC a conduit à des améliorations dans le suivi des taux de cette dernière, et dans la comparaison des tendances entre les pays et à travers le temps. L'épidémiologie de la PC a des objectifs multiples ; d'abord, elle vise à évaluer le fardeau d'une maladie en décrivant sa fréquence ; puis, à surveiller les tendances de prévalence au fil du temps à la recherche d'indices concernant l'étiologie et la prévention ; ces mêmes tendances sont considérées comme une mesure importante de l'impact des développements des soins avant, pendant et après la naissance ; enfin, elle vise à démasquer des facteurs de risque spécifiques pouvant être impliqués dans la survenue de la PC [24].

Les registres de PC ont été mis en place dans l'optique de surveiller la prévalence à la naissance et de permettre une véritable compilation des données épidémiologiques; les deux plus grands sont ceux de la Surveillance de la PC en Europe (SCPE) et le Registre Australien de la PC (ACPR) [25, 26].

La revue systématique de Oskoui et al., des années 1980 et 1990 a rapporté une prévalence de 2,1 pour 1000 naissances vivantes. Historiquement, les fluctuations temporelles ont été rapportées au pays à revenu élevé (HIC) à mesure que certaines voies causales devenaient évitables, telles que l'ictère, et que d'autres apparaissaient telles que l'augmentation de la survie des nourrissons nés prématurément avec l'avènement des unités de soins intensifs néonataux [27].

Au cours des dernières années, des baisses significatives et soutenues de la prévalence de la PC à la naissance ont été signalées dans les régions HIC d'Europe, d'Australie et du Japon ; selon la récente meta-analyse de McIntyre et al., la prévalence actuelle de la PC pré/périnatale à la naissance est de 1,5 pour 1000 naissances vivantes, et pour la PC post-néonatale, l'estimation est de 0,8 pour 10 000 naissances vivantes. La prévalence globale actuelle (y compris post-néonatale) de la PC à la naissance est de 1,6 pour 1000 naissances vivantes. Cette estimation est inférieure de 25 % à celle signalée en 2013 (2,1 pour 1000) [1].

Region	Pre/perinatal cerebral palsy per 1000 live births				Postneonatal cerebral palsy per 10 000 live births			
	1995	2005	2014	Trend classification	1995	2005	2014	Trend classification
Denmark				↓				NA
Attica, Greece				↓				=
Eastern Area, Ireland				↓				H
Northern Ireland, UK				=				=
Norway				↓				=
Portugal				↓				H
Slovenia				↓				=
Sunderland, UK				↓				↑
Saint Gallen, Switzerland				=				=
Western Sweden, Sweden				↓				↓
South Australia, Australia				↓				=
Victoria, Australia				↓				H
Western Australia, Australia				↓				=
Atlanta, US				=				NA

↑ indicates increasing birth prevalence
 ↓ indicates decreasing birth prevalence
 H indicates a heterogenous trend in the birth prevalence
 = indicates no significant change in the birth prevalence

Figure 7: Tendances de la prévalence à la naissance de la PC Selon McIntyre et al [1]

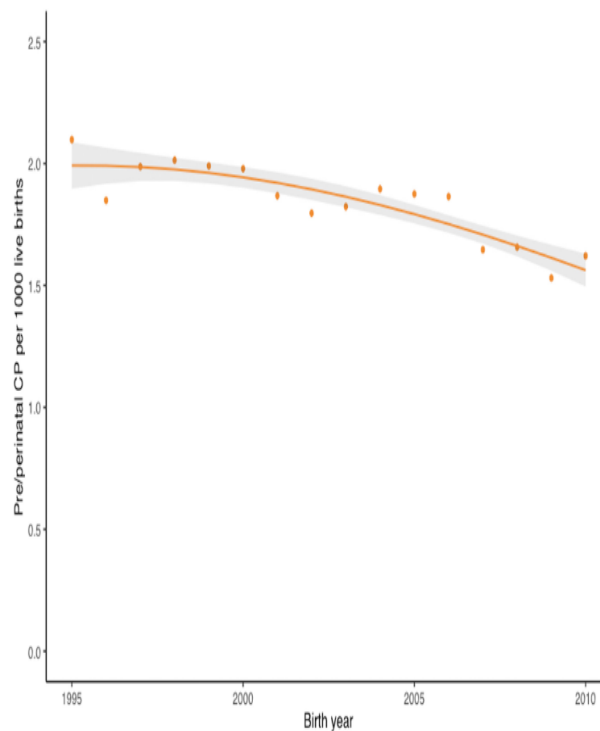


Figure 8: Tendence de la prévalence à la naissance de la PC pré-/périnatale des registres ACPR et SCPE combinés [1]

Des données émergent également des régions des pays à revenu faible et intermédiaire (PRFI) où des taux plus élevés de PC sont signalés. Il est impératif de mettre à jour la prévalence de la PC en incluant des données provenant de ces régions, d'autant plus que la plupart des naissances dans le monde ont lieu dans les PRFI. Les seules données exploitables pour la prévalence globale mondiale ont estimé la prévalence à la naissance à 3 pour 1000, ce qui représente plus du double des résultats obtenus dans les régions HIC ; ces estimations de prévalence sont peut-être l'objet d'un biais de survie (c'est-à-dire une mortalité élevée dans les premières années, avant un diagnostic de PC et aussi une mortalité élevée chez les enfants atteints de PC). Les efforts de collaboration tels que les programmes de mentorat avec la SCPE, l'ACPR et le registre mondial des PRFI augmenteront la représentation de ces régions [1].

Il existe un manque important d'informations concernant l'épidémiologie de la PC dans les pays arabophones (ASCs: Arabic-speaking countries) en termes de taux de prévalence, de types, de causes et/ou de facteurs de risque. Ces informations sont nécessaires pour orienter l'élaboration de stratégies de prévention. Ces pays sont au nombre de 22 et représentés par les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, dont l'arabe est une langue officielle. Environ 392,4 millions de personnes vivent dans cette région, sur une superficie de plus de 13 millions km². La prévalence de la PC est estimée à 1,8 pour 1000 naissances vivantes, selon Mushta et al., leur étude a sélectionné 7 études de l'Égypte (n=5), la Jordanie (n=1) et de l'Arabie Saoudite (n=1) ; ce chiffre ne peut être généralisé mais donne une indication de la fourchette de la prévalence à la naissance dans la région [28].

3.3 Étiologies et Facteurs de risques de la paralysie cérébrale

La compréhension des facteurs étiologiques dans la survenue de la PC a radicalement évolué, alors que Little en 1840 a incriminé une anomalie à la naissance (asphyxie et prématurité) comme étant le principal facteur de survenue et a laissé une marque durable sur la réflexion ultérieure concernant l'étiologie de la PC ; Freud, quant à lui, avançait une opinion inverse c'est-à-dire une anomalie du développement intra-utérin qui n'a pas été reconnue. Ce n'est que dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle

que la recherche a commencé à illustrer la nature complexe et multifactorielle de la genèse de la lésion cérébrale [16, 29, 30].

Les taux de prévalence de la PC ont été utilisés comme mesures de résultats de la pratique obstétricale et des soins néonataux et il était prévu que l'amélioration dans ces domaines entraînerait une baisse des taux de PC; contrairement aux attentes, la réduction de la mortalité périnatale observée depuis les années 1970 n'a pas entraîné de baisse significative des taux de PC. En effet, l'augmentation de la survie des prématurés, notamment les très grands prématurés, a contribué à un maintien, voire à une légère hausse de la prévalence [31].

Définir l'étiologie de la PC est un exercice complexe, puisqu'elle est hétérogène et multifactorielle. Les facteurs de risques sont classés selon le moment de survenue de l'agression cérébrale, qui peut être prénatale, périnatale ou postnatale. Il est essentiel de comprendre l'étiologie de la PC pour développer des stratégies de prévention ciblées et améliorer le pronostic en posant un diagnostic clair et précoce [32, 33].

3.3.1 Facteurs de risque prénatals

3.3.1.1 Infections maternelles

Les infections maternelles pendant la grossesse, telle que les infections à la toxoplasmose, syphilis, virus d'Epstein Barr, Virus de l'immunodéficience humaine (VIH), virus Zika, Rubivirus, Cytomégalovirus (CMV), Herpes virus, aussi les infections génito-urinaires (vaginose bactérienne, chlamydia, trichomonas) et infections néonatales (septicémie à streptocoque du groupe B, pneumonie néonatale, méningite) ont toutes été impliquées dans la PC. L'étiologie infectieuse reste présente notamment dans les PRFI ; les taux peuvent aller de 15% à 21% en Afrique de l'ouest et Afrique australe ; cependant, il n'existe pas aujourd'hui de données sur la cinétique de la PC suite aux infections maternelles dans ces pays, qui pourrait refléter la prévention et la prise en charge [32, 34, 35].

3.3.1.2 Retard de la croissance foetale

Les nourrissons avec un retard de croissance foetale (RCF) présentent des altérations de la structure cérébrale notamment du volume de la matière grise, ce qui restreint

l'apport d'oxygène au cerveau frontal et au cervelet. Par conséquent, ils sont plus vulnérables face aux stress habituels du travail, augmentant ainsi le risque de lésions provoquant une PC.

Les données qui proviennent de plusieurs registres nationaux de PC en Europe ont révélé un risque significatif multiplié par quatre à six de PC chez les nourrissons atteints de RCF nés entre 32 et 42 semaines de gestation. Il a été relevé aussi une association d'anomalies génétiques de type monogénique ou encore des variantes du nombre de copies (VNC) à la survenue d'un retard de croissance [32, 33].

3.3.1.3 Facteurs génétiques

Des études récentes génétiques de séquençage de l'exome humain ont identifié plusieurs voies monogéniques qui prédisposent les individus à la PC, en rapportant une incidence entre 11% à 40% de maladie monogéniques chez les patients ayant reçu ce diagnostic, d'où l'importance des tests avancés génétiques, seul garant d'un diagnostic différentiel des autres troubles neurodéveloppementaux. Avec les progrès de la recherche génétique et l'augmentation des thérapeutiques validées, il est nécessaire d'identifier les patients dont le pronostic changerait avec un diagnostic précis [33, 36].

Des méta-analyses récentes portant sur la PC ont fourni des informations précieuses. Gonzalez-Mantilla et al. dans leur revue systématique comprenant 13 études, 15 cohortes et 2612 cas, a donné un taux de diagnostic de 31,1 % pour le séquençage de l'exome ou le séquençage du génome. Une autre analyse de Srivastava et al. , comprenant 15 études avec 2419 cas provenant de 11 articles, a révélé un taux de diagnostic global de 23 % pour le séquençage de l'exome [37, 38].

Les résultats des recherches systématiques suggèrent certains « drapeaux rouges » pour effectuer les tests génétiques. La consanguinité et les antécédents familiaux positifs ainsi que la dyskinésie et l'absence de spasticité ont été identifiés comme des indicateurs potentiels importants de PC génétique. La présence d'une déficience intellectuelle, l'absence de distribution unilatérale des symptômes et l'absence de naissance prématurée ont été classées comme des indicateurs modérés ; alors qu'une déficience visuelle et une microcéphalie sont considérées comme indicateurs possibles de PC génétiques [37-39] .

L'IRM cérébrale peut donner un aperçu de la probabilité d'une cause génétique. Par exemple, les troubles de l'hypo-myélinisation et certains défauts de migration neuronale sont fortement indicatifs des causes génétiques. Une IRM cérébrale normale est également un « drapeau rouge » pour une cause génétique et/ou métabolique sous-jacente telle que la paraparésie héréditaire ou la dystonie sensible à la Dopamine, par exemple chez un enfant avec une présentation bilatérale et sans antécédent de naissance prématurée [36, 40].

L'obtention d'informations complètes sur la génétique de la PC permettra aux cliniciens de développer des interventions ciblées basées sur les facteurs de risque génétiques spécifiques de chaque patient ; pour cela il faut poursuivre la collaboration interdisciplinaire qui fera déverrouiller l'architecture génétique complexe de la PC et ouvrir la voie à la médecine de précision [40].

3.3.1.4 Affections chroniques maternelles

Les affections maternelles préexistantes, telles les maladies cardiovasculaires ou métaboliques chroniques, les pathologies mentales et l'obésité augmentent le risque de PC ; dans 50% des cas il est noté une association avec une naissance prématurée ; cependant, le risque reste accru pour les mères avec des affections chroniques pour une naissance à terme [40, 41].

3.3.1.5 Grossesse multiple

Parmi les naissances à terme entre 1990 et 2008, regroupées à partir des registres européens de PC lors d'une étude de cohorte de population, le risque de PC était nettement plus élevé chez les naissances multiples à terme que chez les naissances simples à terme (RR = 1,89, IC à 95 % 1,56–2,30) [42].

Dans ce groupe d'autres facteurs de risques tels que le poids à la naissance, la monochorionicité et le syndrome de transfusion de jumeaux à jumeaux sont également corrélés à la prévalence de PC impliquant un risque d'ordre supérieur de 28,9% de survenue. L'ordre de naissance des jumeaux ne représentait pas un risque supérieur.

Vient se surajouter l'augmentation du risque de naissance prématurée et du faible poids de naissance corrélés aux grossesses multiples qui sont considérés comme les facteurs prédominant de PC ; cependant le risque relatif de PC pour une naissance

prématurée d'une grossesse multiple ou simple reste sensiblement le même ; il existe une amélioration marquée par une diminution de survenue chez les prématurés multiples depuis 1990 à 2008 contrairement aux naissances prématurées simples [42].

3.3.2 Facteurs de risque périnataux

La période périnatale est considérée comme étant critique pour le développement du cerveau ; les principaux facteurs de risque périnataux sont les suivants :

3.3.2.1 Naissance prématurée

Dans la meta-analyse de Oskouri et al., la prévalence de la PC suite à une grande prématurité (avant 28 semaines d'aménorrhée (SA) était estimée à 111 pour 1000 naissance avec une tendance à la baisse avec l'augmentation de l'âge gestationnel. En 2022, Mclntyre et al. dans leur revue avaient relevé une tendance à la baisse statistiquement significative pour la PC pré-/périnatale en Europe et en Australie, alors qu'il n'y avait pas eu de changement pour la PC post-néonatale [1, 27].

Donald et al. 2014 dans leur systématique revue des étiologies de la PC dans les pays africains avaient classé la prématurité après l'asphyxie à la naissance, l'ictère nucléaire et les infections maternelles ; ces résultats contrastent avec les rapports des pays développés, où les facteurs prénatals sont plus fréquemment signalés comme étant la cause de la PC [35].

L'accouchement prématuré est un facteur de risque majeur de PC ; selon le rapport de 2023 du registre australien de PC, 43,7 % des nourrissons qui ont développé une PC sont nés prématurément (avant 28 semaines de gestation) contre 19,5% pour les nourrissons nés à terme. Un autre facteur souvent associée à un risque accru de PC chez les naissances prématurées est la procréation médicalement assistée, qui a doublé la prévalence de la PC par rapport aux naissances conçues naturellement. Les naissances prématurées et/ou l'insuffisance pondérale à la naissance étaient les facteurs de risque les plus fréquemment observés, présents dans 45,3 % dans l'étude chinoise de Gong et al. [26, 33, 43].

Une méta-analyse récente a montré que le risque de PC était plus faible après un accouchement prématuré médicalement indiqué qu'après un accouchement

prématuré spontané avec un odds ratio de 0,59. D'un autre côté, une naissance prématurée médicalement indiquée semblait être défavorable pour les résultats cognitifs [44].

En outre, les données de six essais contrôlés randomisés portant sur plus de 6 000 enfants révèlent que l'administration de sulfate de magnésium pendant la grossesse réduit considérablement le risque de PC chez les naissances prématurées précoces (Risque relatif (RR) : 0,71, Intervalle de confiance (IC) à 95 % : 0,57–0,89) [12].

3.3.2.2 Faible poids à la naissance

Des données récentes montrent une multiplication par deux du risque de PC chez les nourrissons en dessous du dixième percentile du poids (16,4 % avec PC, contre 7,8 % des témoins, Odds ratio (OR) 2,32, IC à 95 % : 1,56–3,46), confirmant ainsi l'association entre l'insuffisance pondérale à l'âge gestationnel et la PC [45].

Le rapport de 2023 du registre australien de surveillance de la PC avance un taux de 43 % des enfants atteints de PC nés avec un faible poids à la naissance (<2500 gr) par rapport à 6,5 % de la population australienne ; 22 % sont nés avec un poids à la naissance très bas (<1500gr) par rapport à 1 % et 11 % avaient un poids à la naissance extrêmement bas (<1000 gr) par rapport à 0,5 % de la population australienne. La prévalence de la PC a globalement diminué dans tous les groupes de poids à la naissance [26].

3.3.2.3 Asphyxie à la naissance

L'asphyxie à la naissance, ou l'encéphalopathie hypoxique-ischémique, étaient considérées comme principales causes de PC dans les pays à revenus faibles ; Toorn et al. dans leur revue avaient classé l'asphyxie à la naissance comme première cause devant l'ictère et les infections maternelles dans les pays africains.

Ces événements n'ont pas été placés dans un contexte statistique approprié puisque l'étude du National Collaborative Périnatal Project (NCPP) portant sur environ 50 000 enfants nés entre 1959 et 1966 a prouvé que les indicateurs cliniques d'asphyxie à la naissance (bradycardie fœtale, faible score d'Apgar et retard du premier souffle) ne se produisaient que chez une minorité d'enfants atteints de PC. Environ 70 % des enfants atteints de PC avaient un score d'Apgar ≥ 7 à 5 minutes après la naissance, et 95 % des enfants ayant un poids de naissance normal et un score d'Apgar de 0 à 3 à

5 minutes après la naissance n'étaient pas atteints d'un handicap majeur à l'âge scolaire précoce. Ces résultats ont clairement montré que l'asphyxie à la naissance n'était pas la cause dominante de PC comme de nombreux cliniciens et le grand public l'avaient supposé [32, 46].

Vient consolider cette vision le fait qu'une augmentation de la prévention par la surveillance électrique de la fréquence cardiaque fœtale et l'augmentation du nombre de césarienne n'ont pas eu comme résultat une baisse correspondante sur l'incidence de la PC. Des études internationales suggèrent que moins de 10% des PC ont comme origine objective une asphyxie périnatale aiguë ; d'autres suggèrent une sensibilité génétique aux conséquences de l'asphyxie [33].

3.3.3 Facteurs de risque acquis (postnataux)

Bien que la plupart des cas de PC soit attribuée à des facteurs prénataux et périnataux ; les agressions postnatales peuvent également contribuer au développement de la PC. Ces facteurs incluent :

3.3.3.1 Les infections

Les infections postnatales, telles que la méningite et l'encéphalite, peuvent provoquer des lésions cérébrales et entraîner une PC. Ces infections sont particulièrement nocives au cours des premiers mois de vie ; elles sont classées première cause de PC post natales dans les pays à faible revenu, et sont passées deuxième cause après les accidents vasculaires cérébraux (AVC) dans le rapport du registre australien de PC [26, 46, 47].

3.3.3.2 La lésion cérébrale traumatique

Un traumatisme crânien grave survenant à la petite enfance (avant l'âge de deux ans) peut entraîner une PC ; les accidents domestiques, les accidents de la voie publique et le syndrome du bébé secoué représentent les étiologies du traumatisme [47].

3.3.3.3 Les accidents vasculaires cérébraux

Les accidents vasculaires cérébraux (AVC) et autres événements vasculaires cérébraux survenant 28 jours après la naissance et avant 2 ans sont responsables de PC ; La forme la plus courante est la thrombose de l'artère cérébrale moyenne ; mais l'infarctus veineux périventriculaire peut également se produire. Les causes des AVC

périnataux sont en grande partie spontanés ou pouvant être secondaires à une complication des cardiopathies congénitales, au décours d'une chirurgie ou des méningites bactériennes ou virales [26, 32].

3.3.3.4 L'ictère nucléaire

L'ictère non traité peut entraîner un ictère nucléaire, une affection qui cause des lésions cérébrales et une PC. L'ictère nucléaire était autrefois une cause courante de PC, mais dans les HIC, le nombre de cas de PC associés à cette étiologie a considérablement diminué grâce à la prévention et à une meilleure gestion de l'hyperbilirubinémie néonatale. Cependant, il demeure une des étiologies de PC dans les PRFI avec des taux de 15,4% pour une étude égyptienne et 36,9% pour une autre nigérienne [32, 35].

La PC est un trouble complexe dont l'étiologie multifactorielle fait intervenir des facteurs prénatals, périnataux et postnatals. Bien que des progrès importants aient été réalisés dans l'identification des facteurs de risque, les mécanismes exacts qui sous-tendent la PC restent mal compris. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour démêler les contributions génétiques et environnementales à la PC et pour développer des stratégies de prévention et d'intervention ciblées.

4 CARACTERISTIQUES CLINIQUES DE LA PARALYSIE CEREBRALE ET OUTILS DE CLASSIFICATION

La PC constitue une entité clinique hétérogène, tant sur le plan étiologique que physiopathologique, se traduisant par une grande variabilité des profils moteurs et cognitifs. Les progrès en épidémiologie, en neuro-imagerie et en génétique ont permis une meilleure compréhension des mécanismes impliqués.

Le tableau clinique dépend étroitement de la localisation, de l'étendue et du moment de survenue de la lésion cérébrale. Les manifestations peuvent aller de troubles moteurs discrets à des limitations sévères de la mobilité, parfois associées à des troubles sensoriels, cognitifs, de la communication ou du comportement. Cette diversité clinique justifie le recours à des outils standardisés de description et de classification.

4.1 Diagnostic

Le diagnostic précoce de la PC repose sur la combinaison des antécédents médicaux, d'une évaluation neuromotrice standardisée réalisée par des professionnels formés et des données de l'IRM cérébrale. Toutefois, une imagerie normale peut être observée chez une proportion non négligeable de patients, notamment dans certaines formes sévères ou dyskinétiques. Le diagnostic repose également sur l'exclusion de pathologies neurologiques progressives [48, 49].

L'âge du diagnostic varie selon les objectifs cliniques ou épidémiologiques. Après harmonisation des pratiques, plusieurs registres ont retenu l'âge de 5 ans pour confirmer le diagnostic de PC [25, 50].

Chez les nourrissons présentant des évènements cliniques graves nécessitant des soins intensifs néonataux, un diagnostic probable de PC peut souvent être posé précocement. Dans les cas contraires, un diagnostic clinique précoce au cours des 12 à 18 premiers mois de vie peut s'avérer difficile, voire impossible. Dans une étude danoise portant sur 1 291 enfants nés entre 1995 et 2003, l'âge médian global corrigé du diagnostic de PC était de 11 mois ; une autre étude du registre de PC d'Australie

Chapitre 4: Caractéristiques cliniques de la PC et outils de classification

occidentale qui comprenait 629 enfants atteints de PC nés entre 1990 et 1999, a conclu que 52 % des enfants atteints de PC ont été diagnostiqués avant l'âge de 1 an et 6 % à l'âge de 5 ans ou plus [51, 52] .

Chez les nourrissons présentant des événements néonataux graves, un diagnostic probable peut être posé précocement, tandis que chez les enfants sans facteurs de risque identifiés, le diagnostic est souvent plus tardif. La persistance anormale des réflexes primitifs et des schémas moteurs immatures constitue un signe clinique clé, traduisant une perturbation des réseaux neuronaux impliqués dans le développement moteur [53].

Des plateformes d'information ont été développées afin de sensibiliser les familles et les professionnels au dépistage précoce des retards du développement, notamment le site des CDC, qui joue également un rôle dans la surveillance épidémiologique et l'orientation des politiques de santé[54].

Tableau 1: Signes précoces de la PC [54]

<i>Chez un bébé âgé de 3 à 6 mois</i>	<i>Chez un bébé âgé de plus de 6 mois</i>	<i>Chez un bébé de plus de 10 mois</i>
<i>La tête tombe en arrière lorsqu'on le soulève alors qu'il est allongé sur le dos. Il semble raide. Il semble mou. Il semble trop étirer son dos et son cou lorsqu'on le soulève dans les bras, agissant constamment comme s'il vous repoussait. Ses jambes deviennent raides ou se croisent en ciseaux lorsqu'on le soulève</i>	<i>Il ne se retourne dans aucune direction. Il ne peut pas joindre ses mains. Il a du mal à porter ses mains à sa bouche. Il tend une seule main tout en gardant l'autre fermée.</i>	<i>Il rampe de manière déséquilibrée, en poussant avec une main et une jambe tout en traînant la main et la jambe opposées. Il se déplace sur les fesses ou sautille sur les genoux, mais ne rampe pas à quatre pattes.</i>

Dans leur revue de 2017, Novak et al. ont démontré qu'un diagnostic fiable de la paralysie cérébrale est possible dès la petite enfance, et qu'un diagnostic précoce est

associé à de meilleurs résultats fonctionnels à long terme grâce à un impact favorable sur la neuroplasticité. Contrairement aux craintes de faux diagnostics générateurs d'anxiété, les études montrent que les parents préfèrent être informés précocement afin de débiter rapidement des interventions adaptées [55, 56].

Selon Novak et al., les outils les plus prédictifs du risque de PC varient avec l'âge corrigé de l'enfant.

Chez les nourrissons âgés de 5 mois ou moins, les examens les plus performants sont l'IRM à terme (sensibilité 86–89 %), l'évaluation qualitative des mouvements généraux de Prechtl (sensibilité 98 %) et l'examen neurologique du nourrisson de Hammersmith (sensibilité 90 %).

Chez les nourrissons âgés de 6 mois ou plus, l'IRM (sensibilité 86–89 %), l'examen de Hammersmith (sensibilité 90 %) et l'évaluation du développement des jeunes enfants (indice C 83 %) constituent les outils les plus pertinents [55].

Lorsque le diagnostic formel ne peut être confirmé, Novak et al. proposent l'utilisation du concept de « risque élevé de PC », reposant sur l'association d'une dysfonction motrice et soit d'une anomalie à l'IRM, soit d'antécédents cliniques évocateurs, afin de ne pas retarder la mise en place d'interventions précoces susceptibles d'améliorer le pronostic fonctionnel [55].

L'IRM néonatale permet d'identifier plusieurs marqueurs fortement prédictifs d'un risque élevé de PC, notamment les lésions de la substance blanche telles que la leucomalacie périventriculaire kystique, l'infarctus hémorragique périventriculaire et l'AVC néonatal. Les atteintes des noyaux gris centraux, les hémorragies cérébelleuses ainsi que certaines malformations cérébrales (lissencéphalie, microgyrie, dysplasie corticale) sont également décrites comme facteurs de risque [57].

En cas d'IRM initialement normale, une nouvelle imagerie vers l'âge de 2 ans est recommandée afin de détecter d'éventuelles lésions subtiles de la substance blanche. Si l'imagerie demeure normale, une origine génétique ou métabolique doit être envisagée. L'IRM joue ainsi un rôle central, à la fois diagnostique, pronostique et prédictif des troubles neurodéveloppementaux associés [58].

Les travaux du SCPE (2017) ont abouti à la mise en place du système de classification

MRICS, qui distingue cinq groupes d'anomalies à l'IRM: maldéveloppements, lésions prédominantes de la substance blanche, lésions prédominantes de la substance grise, anomalies diverses et imagerie normale [59].

La nature des lésions est étroitement liée au stade de maturation cérébrale au moment de l'agression: les malformations surviennent avant 20 semaines, la LPVK entre 24 et 34 semaines, et les lésions de la substance grise après 34 semaines de gestation [58, 60].

Le diagnostic de la PC repose sur une approche intégrative associant données cliniques, évaluation neuromotrice standardisée et imagerie cérébrale. Les données récentes confirment qu'un diagnostic précoce est possible et bénéfique, tout en soulignant la complexité du processus diagnostique. L'introduction de la notion de « risque élevé de PC » constitue une stratégie pragmatique permettant d'initier précocement une prise en charge ciblée sans attendre une confirmation définitive.

4.2 Caractéristiques cliniques et outils d'évaluation

4.2.1 Troubles moteurs dans la paralysie cérébrale : le tableau clinique

La déficience motrice observée dans la paralysie cérébrale correspond à un syndrome du motoneurone supérieur, associant des manifestations positives et négatives.

Les manifestations positives, prédominantes lors de l'examen clinique, résultent d'un défaut de contrôle inhibiteur des circuits corticaux et incluent la spasticité, la dyskinésie, l'hyperréflexie, la persistance des réflexes primitifs ainsi que des déformations musculo-squelettiques secondaires.

Les manifestations négatives traduisent une altération ou une absence de mécanismes sensorimoteurs adaptés, responsables d'une faiblesse musculaire, d'une mauvaise coordination, de troubles de l'équilibre et d'une réduction des capacités posturales et locomotrices. Bien que la prise en charge ait longtemps ciblé l'hypertonie, la programmation motrice anormale semble avoir un impact fonctionnel parfois plus important [61, 62].

Les études utilisant des outils modernes d'analyse du mouvement ont mis en évidence des altérations spécifiques du contrôle moteur chez les enfants atteints de PC par rapport aux enfants au développement typique. Ces anomalies incluent une excitation réflexe excessive au repos, une majoration des réflexes d'étirement lors des mobilisations passives, une inhibition insuffisante des muscles antagonistes lors des mouvements volontaires, ainsi qu'une altération des réponses posturales et de la coordination entre posture, locomotion et mouvement volontaire. L'expression clinique varie selon le type d'activation musculaire, et la faiblesse musculaire peut être partiellement masquée par l'hypertonie, comme l'illustrent les observations après rhizotomie dorsale [62].

L'évaluation clinique de l'enfant atteint de PC doit être structurée, standardisée et réalisée par étapes. Elle repose sur l'analyse du tonus et de la force musculaires, l'évaluation du contrôle moteur sélectif, l'identification des déformations statiques et des contractures, ainsi que l'examen de la posture et de l'équilibre, constituant les bases indispensables à l'évaluation fonctionnelle et à l'orientation thérapeutique [63]

4.2.1.1 Évaluation du tonus musculaire

Le tonus musculaire correspond à la résistance à l'étirement passif d'un muscle au repos. L'hypertonie se définit par une augmentation anormale de cette résistance et peut résulter de la spasticité, de la dystonie, de la rigidité ou de leur association.

4.2.1.1.1 Spasticité

La spasticité doit être distinguée entre le tonus musculaire passif évalué lors de l'examen clinique et les limitations des mouvements volontaires responsables du handicap fonctionnel. La définition fondatrice proposée par Lance (1980) décrit la spasticité comme une augmentation vitesse-dépendante des réflexes toniques d'étirement avec exagération des réflexes ostéo-tendineux, secondaire à une hyperexcitabilité du réflexe d'étirement [64].

Les définitions plus récentes, notamment celle de Sanger et al., se concentrent sur l'expression clinique, distinguant une composante phasique caractérisée par un ressaut brutal à une vitesse seuil, et une composante tonique, plus prolongée,

difficile à différencier cliniquement des modifications viscoélastiques musculaires [65].

Un consensus européen a introduit le concept d'hyperrésistance, définie comme une réponse neuromusculaire anormale à l'étirement passif, distinguant les composantes neurologiques (spasticité réflexe vitesse-dépendante) des composantes non neurologiques [66].

En 2018, le groupe IAB a proposé l'utilisation du terme « spasticité » comme terme générique des troubles d'hyperactivation musculaire en présence d'une parésie centrale, tout en différenciant l'hyperréflexie vitesse-dépendante des autres manifestations motrices (dystonie, spasmes, rigidité), une terminologie pouvant rester ambiguë en pratique clinique [67].

Sur le plan clinique, le handicap lié à la spasticité est souvent davantage corrélé à des déficits associés, tels que la faiblesse musculaire ou le défaut de coordination, qu'à l'hypertonie elle-même. La spasticité est un phénomène labile, modulé par l'état émotionnel, la vigilance, la douleur, les stimulations sensorielles et la posture.

Sanger recommande d'inscrire la spasticité dans le cadre plus large du syndrome du motoneurone supérieur, associant hyperréflexie avec ou sans clonus, diffusion de l'activité réflexe, signe de Babinski et faiblesse à distribution pyramidale, la majorité de ces éléments étant évaluables lors d'un examen passif [65].

Les principaux outils cliniques sont l'échelle d'Ashworth (EA), l'échelle d'Ashworth modifiée (EAM), l'échelle de Tardieu (ET) et l'échelle de Tardieu modifiée (ETM), éventuellement complétées par le Duncan Ely Test.

4.2.1.1.1.1 Échelle d'Ashworth et échelle d'Ashworth modifiée

L'EA, développée en 1964, et sa version modifiée proposée par Bohannon et Smith (1987), sont largement utilisées en raison de leur simplicité. Toutefois, leur validité est limitée par l'absence de standardisation de la vitesse d'étirement, la faible corrélation avec les mesures instrumentales, et une tendance à surestimer la spasticité, en particulier pour les grades faibles [68, 69].

Ces échelles sont simples, rapide d'utilisation et largement diffusées dans la pratique clinique comme dans la recherche. Néanmoins, leur validité est largement remise en question. Plusieurs limites ont été identifiées :

- L'absence de standardisation de la vitesse de mobilisation, ne tenant pas compte du caractère vitesse-dépendant de la spasticité ;
- L'absence de corrélation entre les grades cliniques et les mesures instrumentales (électromyographie, couple de force) enregistrées lors d'un étirement rapide du muscle spastique ;
- Une surestimation de la sévérité de la spasticité, notamment pour les grades faibles, aussi bien chez l'adulte hémiplegique vasculaire que chez l'enfant paralysé cérébral.

Ainsi, l'EA et l'EAM ne permettent pas de distinguer les composantes neurologiques (spasticité réflexe) des composantes mécaniques (rétraction musculaire ou tendineuse) de la résistance à l'étirement. Leur usage est donc plus pertinent pour quantifier l'hyperrésistance globale à l'allongement musculaire plutôt que la spasticité elle-même [66, 70].

Ces échelles ne permettent pas de différencier les composantes neurologiques et mécaniques de la résistance à l'étirement. Leur reproductibilité est variable, généralement meilleure au membre supérieur qu'au membre inférieur, et souvent faible chez l'enfant paralysé cérébral, tant en intra- qu'en inter-examineur [71-73]. Leur sensibilité au changement, notamment après traitement par toxine botulique, est également limitée [70].

4.2.1.1.1.2 Échelle de Tardieu et échelle de Tardieu modifiée

L'ET, développée par Tardieu, Held et Pierrot-Deseilligny (1969), intègre la vitesse d'étirement et la réponse réflexe, offrant une approche plus physiopathologique de la spasticité [74, 75]. Elle repose sur l'évaluation conjointe du grade de résistance, de l'angle d'apparition de la résistance et de la vitesse de mobilisation.

L'échelle de Tardieu (ET) permet l'évaluation de la spasticité à partir de trois paramètres complémentaires : le grade de résistance (Y), décrivant l'intensité et la durée de la résistance à l'étirement, l'angle de résistance (X) correspondant à l'angle

articulaire d'apparition de la résistance, et la vitesse de mobilisation (V), définie selon trois modalités (V1 étirement lent, V2 vitesse correspondant à la chute du segment sous l'effet de la gravité, V3 étirement rapide à vitesse maximale). Les auteurs recommandent une évaluation en position courte, au repos et sans activation volontaire afin d'assurer la fiabilité des mesures [74].

Afin d'améliorer la reproductibilité inter-examineur et la comparabilité des résultats, Boyd et Graham ont proposé l'échelle de Tardieu modifiée (ETM), avec une standardisation des conditions de positionnement, le membre supérieur étant évalué en position assise et le membre inférieur en décubitus dorsal [76].

Contrairement à l'ET, l'ETM ne retient que deux vitesses d'étirement : une vitesse lente (R2), permettant l'évaluation de la résistance mécanique passive et/ou d'une dystonie, et une vitesse rapide (R1), provoquant une réponse réflexe spastique caractérisée par un ressaut suivi d'un relâchement musculaire.

La différence entre les angles R2 et R1 ($\Delta R = R2 - R1$) constitue un indicateur clinique essentiel : un écart important traduit une spasticité réflexe vitesse-dépendante, tandis qu'un écart faible suggère une rétraction musculo-tendineuse prédominante. L'ETM permet ainsi de quantifier la spasticité et de distinguer ses composantes réflexes et structurelles, distinction déterminante pour l'orientation thérapeutique, qu'il s'agisse d'un traitement pharmacologique, d'un programme d'étirement ou d'une chirurgie orthopédique [76].

Plusieurs études ont confirmé la supériorité de l'ETM par rapport à l'échelle d'Ashworth et à l'échelle d'Ashworth modifiée, tant en termes de validité physiologique que de sensibilité au changement après traitement. Néanmoins, la reproductibilité demeure influencée par l'expérience de l'examineur, le groupe musculaire évalué et les conditions de réalisation. L'association des deux outils est souvent recommandée afin de combiner simplicité d'utilisation et précision biomécanique, permettant une évaluation clinique plus complète et fiable de la spasticité [77, 78].

4.2.1.1.2 Dystonie

La dystonie représente une manifestation motrice fréquente et souvent sous-estimée dans la paralysie cérébrale. Elle est définie par Sanger comme un trouble du mouvement caractérisé par des contractions musculaires involontaires, soutenues ou intermittentes, responsables de mouvements de torsion et de postures anormales [65]. Contrairement à la spasticité, la dystonie n'est pas dépendante de la vitesse d'étirement et n'est pas médiée par les réflexes proprioceptifs d'étirement hyperactifs [79]. Elle résulte d'une stimulation supraspinale anormale continue des motoneurons spinaux, entraînant une activation musculaire inappropriée et fluctuante [80].

La dystonie est fréquemment déclenchée ou aggravée par le mouvement volontaire, avec une sévérité fluctuante dans le temps. L'expression clinique varie selon la position du corps, la tâche motrice, l'état émotionnel et le niveau de vigilance. Elle peut être responsable d'une hypertonie, bien que celle-ci ne soit pas systématiquement présente chez tous les patients dystoniques. Dans certains cas, les contractions involontaires apparaissent uniquement lors du mouvement volontaire, alors que le tonus au repos reste normal ou diminué. Lorsque la dystonie persiste au repos et induit une posture involontaire, elle est qualifiée d'hypertonie dystonique [65, 80].

L'évaluation clinique de la dystonie repose sur des outils permettant soit de différencier les formes d'hypertonie, soit d'en quantifier la sévérité et l'impact fonctionnel. L'examen doit être réalisé dans différentes positions, la dystonie étant fortement influencée par la gravité et le contrôle postural. Elle doit ainsi être considérée comme un trouble de la régulation de l'activation musculaire plutôt que comme un trouble isolé du tonus.

L'Hypertonia Assessment Tool est actuellement le seul outil validé permettant de distinguer les différents types d'hypertonie chez l'enfant. Il comprend sept items, cotés de manière binaire, et la présence d'au moins un item positif suffit à confirmer une composante dystonique. Bien qu'il ne mesure pas l'intensité, cet outil constitue une référence pour le dépistage et la classification clinique [81].

Pour quantifier la sévérité de la dystonie, plusieurs échelles ont été proposées :

- La Barry-Albright Dystonia Scale (BADs) , spécifiquement développée pour la PC, cote huit régions corporelles de 0 (absence) à 4 (dystonie sévère) [82].
- La Burke-Fahn-Marsden Dystonia Rating Scale (BFMDRS) et l’Unified Dystonia Rating Scale (UDRS) [83], initialement destinées aux dystonies primaires, permettent d’évaluer respectivement la sévérité motrice et la gêne fonctionnelle [84].
- La Dyskinesia Impairment Scale (DIS) [85], plus récente, quantifie simultanément la dystonie et la choréo-athétose, offrant une vision plus complète des troubles moteurs des formes dyskinétiques de la PC.

Si l’ensemble de ces outils apporte des informations pertinentes sur la sévérité des troubles moteurs, seuls le BADs et le DIS ont été spécifiquement développés pour la PC, et seul le DIS intègre conjointement la dystonie et la choréo-athétose. Des études complémentaires sont nécessaires afin de préciser leur validité, leur fiabilité et leur utilité clinique. En pratique clinique, le BADs apparaît comme l’outil le plus utile pour l’évaluation de la dystonie chez l’enfant atteint de PC, tandis que le DIS est privilégié en recherche et dans les registres de PC pour sa capacité à distinguer et mesurer les deux composantes dyskinétiques [86].

Sur le plan épidémiologique, la dystonie est observée chez environ 15 % des enfants atteints de PC. La cooccurrence avec la spasticité est fréquente, retrouvée chez 50 à 70 % des enfants présentant une PC mixte [85, 87]. Chez les enfants avec un handicap moteur sévère (GMFCS IV–V), la dystonie concerne près de 45 % des patients [87], mais demeure probablement sous-diagnostiquée, avec des répercussions cliniques importantes sur la posture, la douleur et la fonction globale.

4.2.1.1.3 Rigidité

La rigidité est un trouble du mouvement défini par « *une augmentation du tonus musculaire indépendante de la vitesse et de la direction du mouvement* ». Elle se traduit cliniquement par « une résistance uniforme » à la mobilisation passive lente ou rapide du segment corporel. Contrairement à la spasticité, la résistance n’apparaît pas de manière phasique ou avec un « ressaut », mais reste continue et stable tout au long de l’amplitude articulaire, donnant l’aspect dit « *en roue dentée* » [65, 88].

Sur le plan physiopathologique, la rigidité correspond à une activité musculaire tonique soutenue liée à une atteinte des circuits extrapyramidaux, en particulier des ganglions de la base et du système dopaminergique. Elle n'est ni vitesse-dépendante ni seuil-dépendante et ne s'accompagne pas d'un retour spontané vers une posture fixe, permettant ainsi de la différencier de la dystonie. L'examen clinique met en évidence une co-contraction simultanée des muscles agonistes et antagonistes, responsable d'une résistance immédiate au mouvement quelle que soit sa direction [65, 89].

L'évaluation de la rigidité repose principalement sur l'examen clinique, en l'absence d'échelle spécifique validée chez l'enfant. Des outils génériques, tels que l'Hypertonia Assessment Tool, permettent toutefois de distinguer la rigidité de la spasticité et de la dystonie. Des explorations instrumentales, notamment la dynamométrie et l'électromyographie, peuvent contribuer à objectiver la résistance tonique et la co-contraction musculaire [81].

Chez l'enfant PC, la rigidité demeure rare et souvent sous-diagnostiquée ; sa faible incidence rapportée inférieure à 5 % des enfants atteints de PC, pourrait s'expliquer par le fait qu'elle soit souvent classés dans les formes dyskinétique 10 à 15%, ou alors confondue avec la spasticité ou la dystonie, voire par la présence de formes mixtes spastico-rigides ou dystono-rigides [65, 81].

La distinction entre rigidité, spasticité et dystonie est essentielle car elle oriente la prise en charge thérapeutique : la spasticité répond mieux aux traitements antispastiques périphériques (toxine botulique, baclofène intrathécal), tandis que la rigidité et la dystonie relèvent plutôt d'approches centrales (médicaments dopaminergiques, anticholinergiques, stimulation cérébrale profonde).

4.2.1.2 Détermination de la force musculaire

La mesure de la force musculaire est incontournable dans l'évaluation des enfants atteints de PC, puisqu'elle reflète la capacité du système neuromusculaire à générer un couple moteur utile et participe directement à la performance motrice. Chez ces enfants, la faiblesse musculaire est multifactorielle : elle résulte à la fois d'un déficit de commande volontaire secondaire à l'atteinte des voies pyramidales, d'un recrutement moteur incomplet, d'une co-activation inappropriée des antagonistes et

d'anomalies structurales musculaires telles qu'une atrophie, des modifications de la longueur des fibres et une diminution de l'élasticité. Il a été démontré que la force musculaire, et non la spasticité, a le plus grand impact sur la fonction motrice et les activités quotidiennes des enfants atteints de PC [90].

En pratique, la mesure isométrique à l'aide d'un dynamomètre portatif du hand-held dynamometer (HDD) est la méthode la plus utilisée en clinique pédiatrique. Elle est jugée fiable lorsque le protocole est rigoureusement standardisé, notamment en ce qui concerne la position de l'enfant, la stabilisation du segment testé et le nombre d'essais répétés. Les coefficients de corrélation intra-classe rapportés varient entre 0,70 et 0,90 selon les groupes musculaires, ce qui confirme une bonne reproductibilité intra-examineur. Toutefois, plusieurs études insistent sur la nécessité d'effectuer au moins deux essais-deux occasions distinctes afin de réduire l'erreur de mesure et d'obtenir une valeur représentative de la force maximale réelle [91, 92].

Au-delà de la force isométrique, des mesures dites "fonctionnelles" ont été proposées pour mieux apprécier la force dans un contexte d'activité quotidienne. Le test *Functional Strength Measurement in Cerebral Palsy*, validé chez des enfants de 4 à 10 ans présentant une PC GMFC-CS I-II Manual Ability Classification System (MACS) I-III, a montré une excellente fiabilité et une corrélation modérée à forte avec les mesures de force isométrique par HDD. Ce test évalue la capacité de l'enfant à produire un effort dans des tâches écologiques (soulever, pousser, se relever), intégrant ainsi la dimension fonctionnelle absente des tests purement statiques. De même, des approches récentes comme le test progressif de montée latérale ont montré leur faisabilité et leur validité pour estimer la force fonctionnelle des membres inférieurs [90, 93].

Il convient toutefois de rappeler que la faiblesse musculaire, bien que caractéristique, n'explique pas à elle seule les limitations motrices observées chez ces enfants. Lidbeck et al. ont ainsi montré que la capacité à se tenir debout avec ou sans appui n'était pas directement corrélée à la force mesurée des muscles des membres inférieurs. Des facteurs tels que la sélectivité motrice, la coordination, la spasticité,

les contractures et les altérations sensorielles jouent également un rôle déterminant dans la performance posturale et locomotrice [94].

La détermination de la force musculaire chez l'enfant paralysé cérébral nécessite une approche combinant mesures isométriques instrumentées et évaluation fonctionnelle. L'association de plusieurs méthodes permet non seulement de quantifier la force, mais aussi d'en apprécier la valeur clinique et pronostique dans la planification de la rééducation et le suivi des interventions thérapeutiques.

4.2.1.3 Évaluation du contrôle moteur sélectif

Chez l'enfant atteint de PC, le contrôle moteur sélectif (CMS) est défini par Sanger et al. comme étant « la capacité à isoler l'activité musculaire selon un schéma précis en réponse aux exigences d'un mouvement ou d'une posture volontaire » ; cette fonction, qui dépend du développement et de l'intégrité des voies cortico-spinales, se traduit par le control de la vitesse, la fluidité, la réciprocity et l'amplitude d'activation des muscles spécifiques requis pour une tâche donnée. Le déficit de sélectivité se manifeste par une activation simultanée d'antagonistes, une synergie motrice en bloc et l'impossibilité d'isoler le mouvement d'une seule articulation. Ces perturbations expliquent en partie les difficultés fonctionnelles observées, notamment dans la marche, la préhension et les activités motrices fines [95, 96].

L'évaluation du CMS revêt un intérêt clinique majeur car elle permet de distinguer une faiblesse musculaire « réelle » d'une limitation liée à une mauvaise commande volontaire. Les outils d'évaluation clinique qui évaluent le CMS sont pratiques à appliquer, mais quantifient le CMS sur une échelle ordinale donc avec une part de subjectivité, on peut citer l'« Échelle de contrôle sélectif des extrémités supérieures » ou l'« Évaluation du contrôle sélectif des extrémités inférieures » (SCALE). D'autres approches en laboratoire, comme l'électromyographie de surface nécessitent un équipement coûteux, des évaluateurs formés et un temps d'évaluation et d'analyse considérable [97, 98].

L'outil de référence est le SCALE, développé par Fowler et al., qui évalue la capacité à exécuter des mouvements isolés au niveau de la hanche, du genou, de la cheville, de la sous-talarienne et des orteils. Chaque articulation est notée sur une échelle à

trois niveaux : 0 : absence de mouvement volontaire isolé, 1 : capacité partielle à isoler le mouvement, 2 : mouvement isolé complet et coordonné [98].

De nombreuses études confirment que le déficit de sélectivité est l'un des meilleurs prédicteurs des limitations fonctionnelles chez les enfants avec PC. Steele et al. ont démontré que la sélectivité motrice explique une part importante de la variabilité des performances à la marche, indépendamment de la spasticité. Plus récemment, Les résultats de Zhou et al. indiquent qu'une altération du CMS prédit une flexion accrue du genou au contact initial et réduit la longueur et la vitesse du pas et que la compréhension de l'influence d'une altération du control sélectif sur la marche peut éclairer les décisions thérapeutiques et chirurgicales, comme l'allongement des ischio-jambiers ; ou encore, Yun et al. qui ont conclu qu'un bon score SCALE était fortement corrélé positivement avec le GMFM-88 (D&E), le Pediatric Balance scale (PBS), et la vitesse de marche rapide au test de marche de 10 mètres (10MWT), et fortement corrélé négativement avec le Timed Up and Go (TUG) et l'Edinburgh Visual Gait Score [99-102].

4.2.1.4 Estimation des déformations statiques et des contractures musculaires

Chez l'enfant atteint de PC, la limitation de l'amplitude articulaire peut résulter soit d'une contracture dynamique liée à la spasticité, soit d'une déformation statique secondaire à des modifications structurales du muscle ou des tissus périarticulaires. La distinction entre ces deux composantes est essentielle, car elle conditionne le choix thérapeutique médicale, rééducatif ou chirurgical. La contracture dynamique se manifeste par une résistance variable, dépendant de la vitesse d'étirement et typiquement associée à un « catch » spastique. À l'inverse, la contracture statique correspond à un raccourcissement musculaire permanent et à une perte de la longueur musculaire au repos, observée même en l'absence d'activité réflexe [103, 104].

L'examen clinique s'appuie sur la mesure goniométrique de l'amplitude articulaire passive lente, qui renseigne sur la longueur musculaire statique, et sur l'évaluation de la résistance à un étirement rapide, indicatrice de la composante dynamique. L'exploration sous anesthésie locorégionale permet une différenciation précise : la

disparition de la résistance à l'étirement signe une contracture purement dynamique, tandis que la persistance d'une limitation articulaire traduit une rétraction structurale [74, 78, 105].

Plusieurs tests cliniques spécifiques sont utilisés en pratique pour identifier le ou les muscles impliqués dans la déformation. Le test de Silfverskiöld distingue la rétraction du gastrocnémien de celle du soléaire en comparant la dorsiflexion passive de la cheville genou fléchi et genou tendu. Le test de Duncan-Ely explore la spasticité du droit fémoral, tandis que le test de Thomas évalue la rétraction de l'ilio-psoas. La mesure de l'angle poplité et le test d'abduction des hanches permettent quant à eux d'apprécier la rétraction des ischio-jambiers et des adducteurs. Ces tests, associés à une évaluation quantitative de la spasticité, constituent la base du bilan musculosquelettique en consultation de spasticité [106].

L'identification correcte de la composante prédominante dynamique ou statique permet une planification thérapeutique. Une contracture dynamique répondra préférentiellement à un traitement par toxine botulique et à un programme d'étirements actifs, tandis qu'une déformation statique nécessitera souvent une prise en charge orthopédique ou chirurgicale. L'évaluation systématique de ces éléments contribue ainsi à une approche personnalisée, orientée vers la prévention des déformations irréversibles et l'optimisation du potentiel fonctionnel [70].

4.2.1.5 Évaluation de la posture et de l'équilibre

La fonction d'équilibration représente le socle de toute activité motrice, des plus rudimentaires, comme tenir assis, aux plus complexes, comme la course ou les sauts. Les troubles du contrôle postural chez les enfants atteints de PC ont une origine multiple (déficits sensoriels, troubles du tonus, de la commande et de la force musculaires, problèmes musculosquelettiques secondaires...) ce qui se répercute négativement sur leurs performances fonctionnelles des activités motrices de la vie quotidienne (difficultés à marcher, risque de chutes...), et entraîne une limitation de leur participation aux activités scolaires, de loisirs et sociales [107].

L'évaluation de la posture et de l'équilibre constitue une étape essentielle, non seulement pour quantifier les déficits d'équilibration, pour identifier et mesurer le risque de chute, mais aussi pour orienter et évaluer des prises de décisions

thérapeutiques et rééducatives. Il existe différentes modalités d'évaluation de la fonction d'équilibration, instrumentées ou cliniques, impliquant des méthodes qualitatives et quantitatives. En général, l'équilibre des enfants PC est évalué via des outils standardisés du développement moteur tels que le GMFM ou des plateformes d'évaluation posturales. Enfin, l'évaluation du contrôle postural lors des tâches fonctionnelles est primordiale afin de comprendre leurs difficultés d'équilibration en situations réelles de vie quotidienne [107, 108].

Bien que les méthodes d'évaluation instrumentées de la fonction d'équilibration (l'électromyographie (EMG), la cinématique et la posturographie) soient hautement fiables et reproductibles, elles sont également coûteuses et souvent pas accessibles dans la pratique clinique quotidienne, on les retrouve volontiers dans la littérature dans le cadre de la recherche. Pour cette raison, les échelles cliniques sont choisies par les professionnels de rééducation, en raison de leur simplicité d'utilisation, du peu de matériel requis et du faible coût engagé.

La littérature fait état de qualités psychométriques de niveaux modérés ou limités pour la plupart de ces outils d'évaluation. Quatre échelles semblent sortir du lot grâce à leurs validité, fiabilité et sensibilité : la Trunk Control Measurement Scale, la PBS, le TUG test et le Pediatric Reach Test. La PBS est la plus utilisée dans la littérature internationale pour l'évaluation de la fonction d'équilibration des enfants avec PC. Sa corrélation avec le GMF-CS est mise en évidence par Pavão et al. ; d'après Panibatla et al., le score de PBS est corrélé à celui de la Trunk Control Measurement Scale et selon Duarte et al, une corrélation aux sections « mobility » et « self-care » de la Pediatric Evaluation Disability Inventory [109-112].

4.2.2 Troubles associés

La PC est un trouble du mouvement et de la posture, cependant, la déficience motrice n'est que l'aspect le plus visible alors que dans la grande majorité des cas, elle s'accompagne d'un ensemble de troubles associés, de nature sensorielle, cognitive, comportementale ou somatique, qui contribuent de manière significative à la complexité clinique, au handicap fonctionnel et à la diminution de la qualité de vie. Selon les grandes études épidémiologiques récentes, près de 95 % des enfants présentant une PC présentent au moins un trouble associé [48, 113].

La douleur retrouvée dans environ 75 % des cas, fait partie des rares troubles associées à ne pas avoir une corrélation avec la sévérité de la PC. Souvent d'origine neuro-orthopédique ou encore liée aux interventions chirurgicales répétées ; la douleur constitue une source importante de limitation fonctionnelle et de souffrance psychologique [113].

Les troubles cognitifs incluant la déficience intellectuelle, les déficits d'attention, la mémoire et les troubles de perception visuo-spatiale et des fonctions exécutives, influencent fortement l'apprentissage et la communication [48, 113, 114].

L'épilepsie présente chez environ 35 % des patients est aussi corrélée à la sévérité de la PC. Elle est parfois difficile à contrôler et peut interférer avec la rééducation et la scolarisation [113, 115].

Les troubles musculo-squelettiques secondaires (28 %) tels que les rétractions, les déformations orthopédiques (scoliose, luxation de hanche, pied équin) ou l'ostéoporose sont directement liées à la spasticité, au déséquilibre musculaire et à la diminution de la mobilité [113].

Troubles de la communication et du langage en rapport avec une déficience à plusieurs niveaux de production de la parole (phonétique, cognitivo-linguistique, exécution neuromusculaire et planification/programmation de haut niveau), soulignant l'importance d'un diagnostic différentiel personnalisé éclairant le traitement ciblé [116].

Troubles neurodéveloppementaux associés sont représentés par les troubles du spectre autistique (TSA) et le TDAH; ils sont mis en évidence dans des études récentes avec une fréquence élevée atteignant les 45% chez les enfants avec PC, ils sont principalement indépendants de la gravité motrice et du type de PC, et d'avantage corrélés à la déficience intellectuelle [117, 118].

Troubles de la déglutition, de la salivation et de l'alimentation, sont très fréquents chez les personnes atteintes de PC ; leur prévalence est respectivement de 44 %, 50,4 % et 53,5 %. Le risque de malnutrition, de déshydratation, de pneumonie par aspiration et d'une mauvaise qualité de vie est accru chez les enfants PC [119].

Les troubles du sommeil (23 %), souvent sous-diagnostiqués, mais associés à une fatigabilité accrue, à des troubles de l'attention et à une altération de la qualité de vie.

Troubles visuels (11%) (strabisme, nystagmus, myopie, amblyopie, déficience visuelle corticale...) et **troubles auditifs** (4%) [[48](#), [113](#)].

Troubles gastro-intestinaux, tels que le reflux gastro-œsophagien et la constipation chronique, très fréquents chez les patients à mobilité réduite [[48](#)].

Infections respiratoires récurrentes, dues à l'encombrement bronchique, à la dysphagie ou à la faiblesse des muscles respiratoires [[48](#)].

Troubles endocriniens, notamment les anomalies de la puberté (précoce ou tardive) [[48](#)].

Troubles génito-sphinctériens, incluant l'incontinence urinaire, les troubles du contrôle vésical et intestinal [[113](#)].

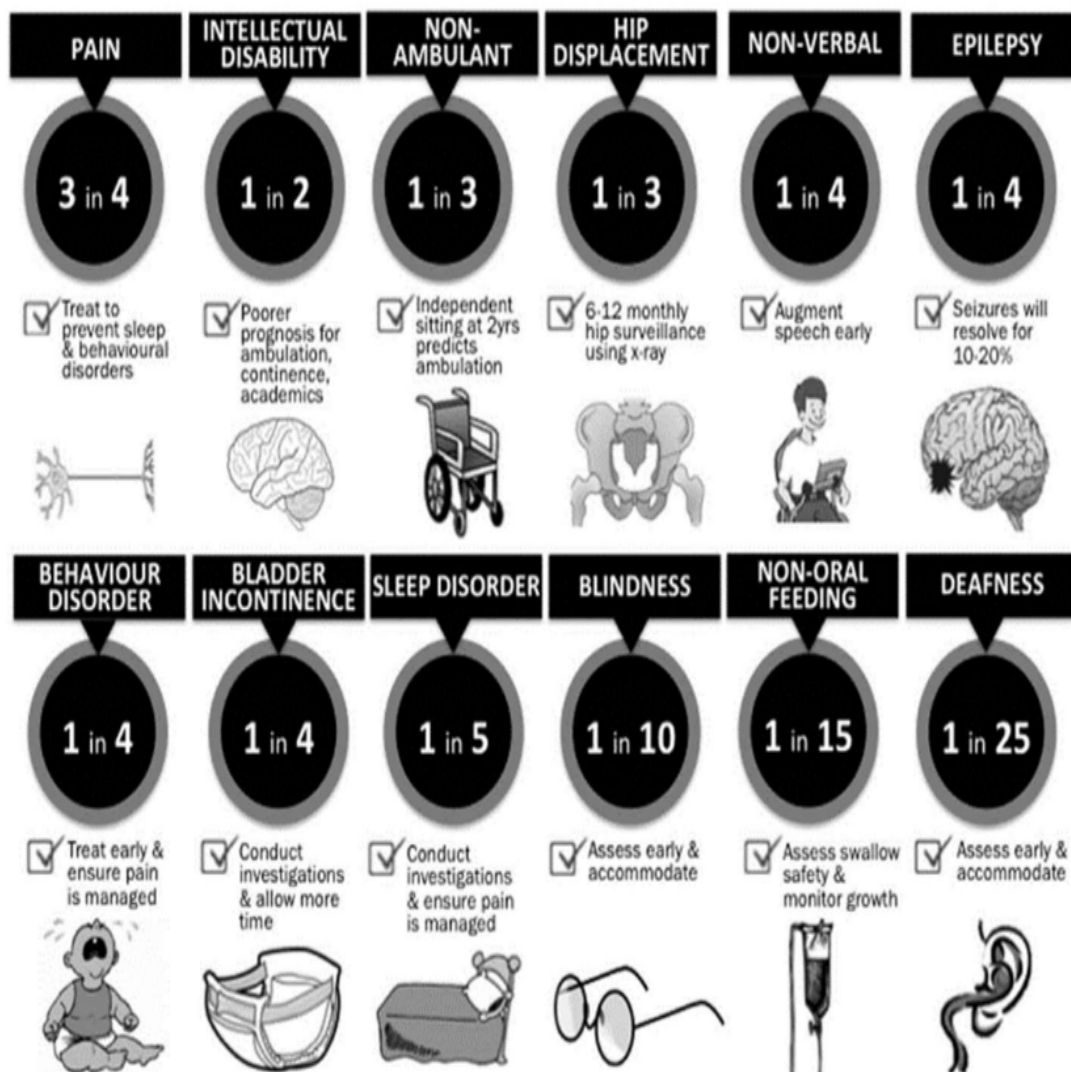


Figure 9: Fréquence des troubles associés à la PC [113]

4.2.3 Classifications cliniques de la paralysie cérébrale

Comme le souligne à juste titre la définition la plus actuelle de la PC, les manifestations cliniques sont hétérogènes, cela implique que les enfants atteints de PC sont différents cliniquement et ce sur de nombreux aspects ; par conséquent différentes classifications sont possibles ; Cependant, s'appuyer sur une classification isolée est toujours inadéquat, un cadre de classification multiaxial est plus approprié pour caractériser de manière exhaustive les compétences de chaque enfant dans de multiples domaines.

Les objectifs de ces classifications peuvent être de décrire la nature des déficiences, de prédire les besoins thérapeutiques actuels et futurs ou encore de comparer les groupes dans différents domaines et d'évaluer les changements suite aux interventions.

4.2.3.1 Classification traditionnelle selon la topographie et la sémiologie neurologique

Les enfants PC diffèrent cliniquement par les caractéristiques suivantes : le type et la nature du trouble moteur, la distribution de la déficience motrice, l'étiologie, la présence et le nombre des troubles associés, les anomalies cérébrales à l'IRM, le degré de gravité des déficiences et enfin les besoins thérapeutiques individuels. En 1956, Minear et le Comité de nomenclature et de classification de l'Académie américaine pour la classification de la PC ont proposé un premier système de classification présentant sept axes basés sur les caractéristiques susmentionnées. Les cadres de classification ultérieurs ont évolué à partir du système original de Minear, représentant soit une synthèse soit une extension des catégories établies. Ces systèmes de classification, qui reposent sur de multiples variables, incluent le système de classification suédois, la classification d'Édimbourg et la classification de la SCPE qui est la plus adoptée aujourd'hui (Tableau 02) [[25](#), [120](#), [121](#)].

Tableau 2: Classifications traditionnelles de la PC [121]

<i>American Academy of Cerebral Palsy Minear (1956)</i>	<i>La classification suédoise (1989)</i>	<i>La classification d'Édimbourg (1996)</i>	<i>La classification SCPE (2000)</i>
<i>Physiologique (moteur) :</i>	<i>Spastique</i>	<i>Hémiplégie</i>	<i>Spasticité</i>
<i>Spastique</i>	<i>Hémiplégique</i>	<i>Hémiplégie bilatérale</i>	<i>Bilatérale</i>
<i>Athétosique</i>	<i>Tétraplégique</i>	<i>Diplégie</i>	<i>Unilatérale</i>
<i>Rigide</i>	<i>Diplégique</i>	<i>Hypotonie</i>	<i>Dyskinésie</i>
<i>Ataxique</i>	<i>Dyskinétique,</i>	<i>Dystonie</i>	<i>Choréoathèse</i>
<i>Tremblement</i>	<i>Dystonique</i>	<i>Rigidité</i>	<i>Ataxie</i>
<i>Hyotonique</i>	<i>Atethosique</i>	<i>Spasticité</i>	
<i>Mixte</i>	<i>Ataxique</i>	<i>Ataxie</i>	
<i>Non classifiable</i>	<i>Non</i>	<i>Dyskinésie, dystonie</i>	
<i>Topographique :</i>	<i>classifiable/mixte</i>	<i>Chorée</i>	
<i>Monoplégie</i>		<i>Atéthose</i>	
<i>Paraplégie</i>		<i>Tremblements</i>	
<i>Hémiplégie</i>		<i>Autres formes</i>	
<i>Triplégie</i>		<i>y compris les formes</i>	
<i>Quadriplégie</i>		<i>mixtes</i>	
<i>Diplégie</i>			
<i>Double hémiplégie</i>			

Le SCPE classe la PC en quatre sous-types : spastique (bilatérale et unilatérale), dyskinétique (dystonique et choréoathétosique), ataxique et non classifiable. Ce regroupement combine à la fois les classifications sémiologiques et topographiques. L'arbre de classification de la SCPE pour les sous-types de PC est présenté à la figure 10. En raison du manque de fiabilité des termes utilisés dans la classification topographique de Minear, la SCPE a introduit deux nouveaux termes pour remplacer les termes « quadriplégie », « diplégie » et « hémiplégie ». Ces termes sont « bilatéral » et « unilatéral », utilisés respectivement pour décrire l'atteinte des deux côtés et d'un seul côté du corps. Selon cette classification, la tétraplégie spastique et la diplégie

spastique sont classées comme PC spastique bilatérale, tandis que l'hémiplégie spastique est appelée PC spastique unilatérale.

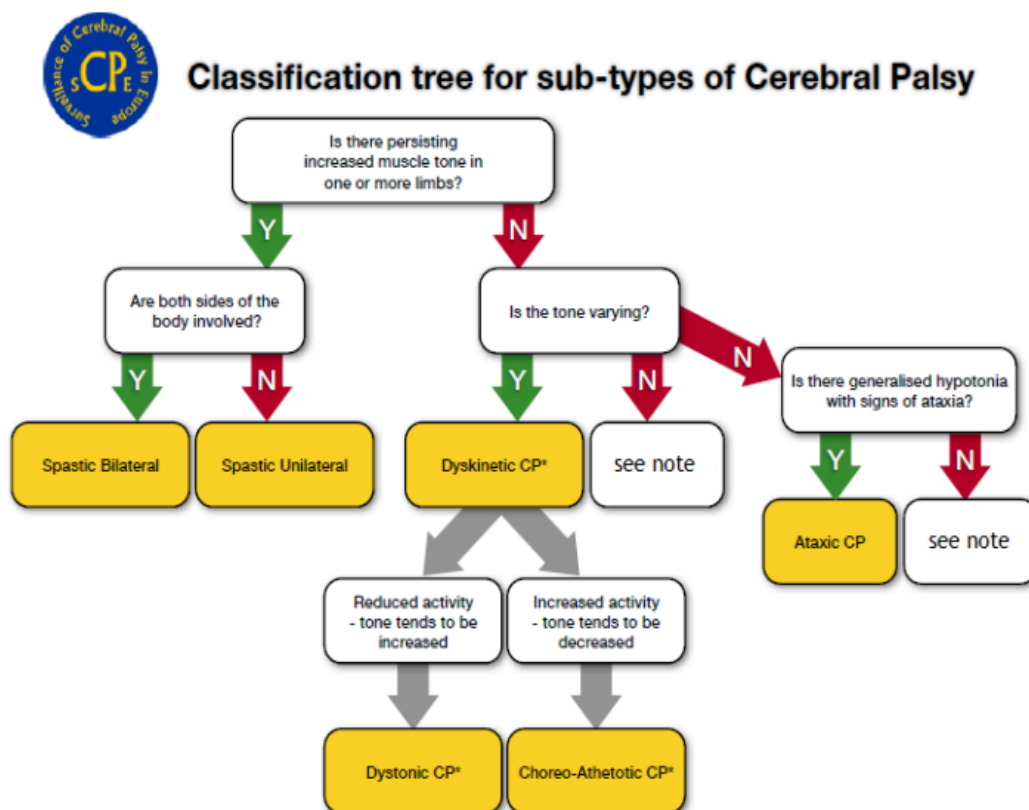


Figure 10: Classification en arborescence en sous type de la PC [25]

Cette classification est facile à appliquer et plus fiable que les classifications traditionnelles antérieures. Par conséquent, en améliorant la fiabilité des termes utilisés dans la composante topographique, la SCPE semble actuellement être la meilleure classification traditionnelle pour décrire les patients atteints de PC [25].

4.2.3.2 Corrélation de la classification clinique et de l'étiologie

Trente-cinq pour cent des patients diagnostiqués avec une PC présentent une diplégie spastique, reconnue comme le phénotype clinique prédominant. Cette forme est attribuée à une lésion des oligodendrocytes en développement survenant entre la 20e et la 34e semaine de gestation, les voies motrices cortico-spinales et thalamo-corticales sont compromises et se manifeste le plus souvent par une leucomalacie périventriculaire à la neuroimagerie. La majorité des enfants atteints

de diplégie spastique conservent des capacités cognitives normales et un bon pronostic pour la marche indépendante. La tétraplégie spastique, qui représente 20 % des enfants atteints de PC, se caractérise par son association à une naissance prématurée, et la neuroimagerie révèle généralement une leucomalacie périventriculaire sévère ainsi qu'une encéphalomalacie corticale multikystique. Ce phénotype clinique est lié à des limitations fonctionnelles notables, à des déficits cognitifs, à des convulsions et à diverses comorbidités. Le pronostic de la marche autonome chez les enfants atteints de tétraplégie spastique est généralement mauvais. L'hémiplégie spastique représente 25 % des cas de PC. Cette forme de PC est principalement observée chez les nourrissons nés à terme, la majorité des cas étant dus à des accidents vasculaires cérébraux in utero ou périnataux. La plupart de ces enfants présentent des fonctions cognitives normales, sont capables de bouger de façon autonome et présentent un degré élevé de capacités fonctionnelles. La PC extrapyramidale englobe des phénotypes cliniques tels que la choréathétose, la dystonie ou la dyskinésie, représentant 15 % de tous les cas de PC. Principalement observés chez les nouveau-nés nés à terme, ces cas sont souvent liés à une encéphalopathie hypoxique-ischémique, à un ictère nucléaire, à des troubles neurométaboliques ou à des affections neurogénétiques. Les enfants diagnostiqués avec une PC extrapyramidale présentent une prévalence plus élevée de troubles associés, notamment cognitifs, convulsifs, du sommeil, des problèmes de comportement, ainsi que des déficits visuels ou auditifs [48, 122].

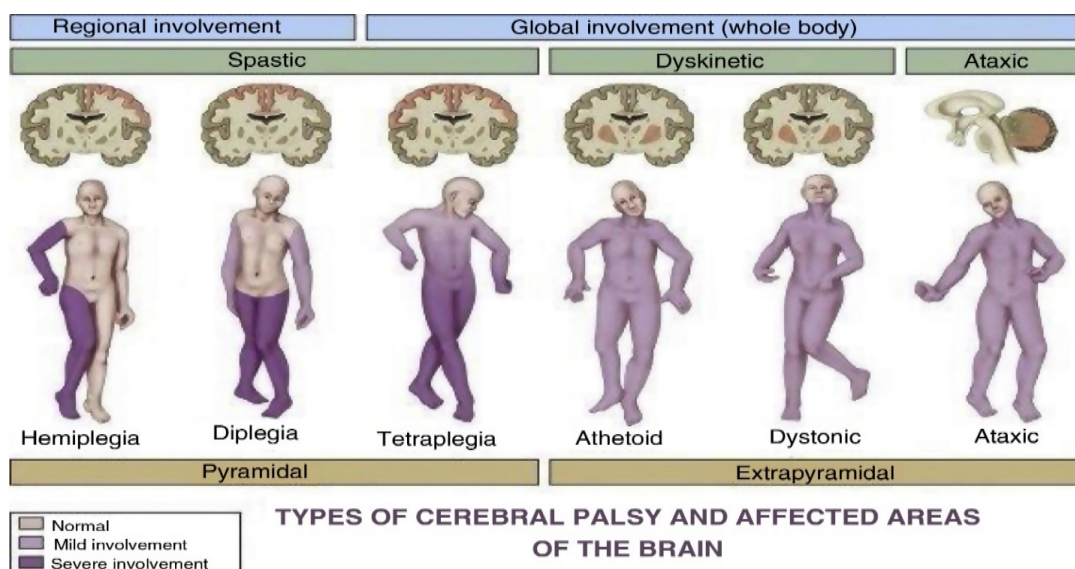


Figure 11: Tableau clinique de la PC et les régions cérébrales affectées [122]

4.3 Outils de classifications fonctionnelles

Actuellement, et pour des fins de normalisation, la classification fonctionnelle de chaque cas de PC est préconisée à l'échelle internationale. Ainsi, les classifications de la PC sont des échelles essentiellement ordinales permettant de classer les capacités fonctionnelles ou la gravité des limitations d'activité pour diverses fonctions altérées, telles que la motricité globale, la motricité fine, la communication et les fonctions oromotrices/oropharyngées. Elles sont simples et faciles à appliquer et conviennent aussi bien à un usage clinique, qu'à une stratification des patients à des fins de recherche. Elles ont été validées et se sont révélées être des systèmes de classification clinique objectifs et fiables pour la PC. Leur développement est le résultat d'un changement de paradigme, passant d'une approche centrée sur la structure et la fonction du corps (évaluations et traitements basés sur les déficiences) à une approche actuelle axée sur l'activité et la participation (fonctionnement et engagement social) ; en se conformant au système de classification de la santé et de la maladie (CIF) qui est universel.

4.3.1 Gross Motor Function Classification System

Il s'agit de la classification fonctionnelle clinique la plus largement utilisée pour la PC. C'est une échelle ordinaire qui décrit les mouvements auto-initiés et l'utilisation d'aides techniques (déambulateurs, béquilles, cannes, fauteuils roulants) pour la mobilité pendant l'activité habituelle d'une personne, elle comprend cinq niveaux

allant de la marche sans restriction (niveau I) à l'incapacité de maintenir la tête et le tronc en position verticale (niveau V). La première version du Gross Motor Function Classification System (GMF-CS) a été publiée en 1997 par Palisano et al. été destinée à décrire les capacités et les limitations fonctionnelles motrices globales chez les enfants de moins de 12 ans. Cette limite supérieure (avant la fin de l'adolescence) a été révisée et élargie, lors de la seconde version en 2008 par Palisano et al. Le GMFCS-ER (**Annexe 1**) comprend des évaluations motrices pour les enfants avant 2 ans, entre 2 et 4 ans, entre 4 et 6 ans, entre 6 et 12 ans et entre 12 et 18 ans. Alors que l'échelle s'est avérée valide, fiable, stable et prédictif de la fonction motrice globale à long terme pour les enfants de plus de 2 ans ; il est au contraire admis qu'elle est peu fiable avant l'âge de 2 ans, car les différences de motricité entre les niveaux I et II ne semblent pas aussi fines que celles entre les autres niveaux. Les rubriques générales de chaque niveau sont les suivantes: déambulation sans limitations (niveau I) ; déambulation avec limitations (niveau II); déambulation avec un appareil de mobilité manuelle (niveau III) ; mobilité autonome avec limitations, peut déambuler avec une assistance physique ou utiliser une mobilité motorisée (niveau IV) ; et transport dans un fauteuil roulant manuel (niveau V). Les enfants et adolescents des niveaux I à III sont considérés capables de déambuler indépendamment, et ceux ayant des niveaux IV à V sont considérés incapables de déambuler indépendamment et ayant un phénotype de paralysie cérébrale plus sévère [20, 123-127].

4.3.2 Manual Ability Classification System

Le Manual Ability Classification System (MACS) a été développé par Eliasson et al. 2006 (**Annexe 2**), spécifiquement pour être analogue et complémentaire du GMF-CS pour les membres supérieurs. C'est un système de classification ordinal en cinq points, validé pour les enfants âgés de 4 à 18 ans ; il permet d'évaluer les performances manuelles lors des manipulations d'objets définis au cours des activités de la vie quotidienne et dans son espace de vie, en prenant en compte l'utilisation de diverses adaptations susceptibles de faciliter l'usage des mains. Le MACS sert à déterminer les besoins de l'enfant et à éclairer les décisions thérapeutiques, telles que le choix d'une intervention appropriée au niveau des membres supérieurs. Par exemple, les enfants classés aux niveaux I et II manipulent des objets de manière autonome et n'ont besoin d'aucun dispositif d'adaptation pour le faire. Les enfants

classés au niveau III ont besoin d'une aide et parfois d'un équipement d'adaptation pour manipuler des objets de manière autonome. Les enfants de niveau IV ont besoin d'une aide continue et d'équipements adaptés, tandis que ceux de niveau V ont besoin d'une aide totale [125, 126, 128].

Le MACS a été ajusté en 2017 par Eliasson et al pour obtenir le mini-MACS, après la publication de l'étude de Plasschaert et al. qui a rapporté une fiabilité inter-évaluateurs plus faible du MACS lorsqu'il est utilisé chez des enfants âgés de 1 à 5 ans, après cette rectification, le mini-MACS s'est révélé extrêmement fiable entre observateurs. Le mini-MACS diffère du MACS en raison de la nécessité d'une assistance pour la manipulation d'objets chez les enfants de 1 à 4 ans et de la nature des objets qu'ils sont censés manipuler [129, 130].

4.3.3 Communication Function Classification System

Le Communication Function Classification System (CFCS) a été développé et validé en 2011 par Hidecker et al (**Annexe 3**). C'est un système de classification ordinal en cinq niveaux, inspiré des deux précédents (GMFCS et MACS). Être un communicateur efficace nécessite à la fois d'envoyer et de recevoir de l'information, et le CFCS évalue donc à la fois la manière dont l'information est exprimée et la manière dont elle est reçue en incluant toutes les méthodes de communication (les vocalisations, les signes manuels, le regard, les expressions faciales, les images, les tableaux de communication, les dispositifs de génération de parole), il prend également en compte les partenaires de communication familiers et inconnus; de cette façon, le CFCS est inclusif et descriptif. Une personne qui communique au niveau I du CFCS est considérée comme un « émetteur et récepteur efficace avec des partenaires familiers et inconnus » alors que le niveau V du CFCS est qualifiée d'« émetteur ou récepteur rarement efficace, même avec des partenaires familiers » [125, 126, 131].

4.3.4 Eating and Drinking Ability Classification System

L'Eating and Drinking Ability Classification System (EDACS) a été développée par Sellers et al. (**Annexe 4**) permet de décrire les capacités alimentaires et hydriques en termes de sécurité (risque de fausse route et d'étouffement), d'efficacité (quantité de nourriture perdue et temps mis pour manger) et ajoute également une échelle ordinaire supplémentaire à trois points qui aborde le degré d'assistance dont une

Chapitre 4: Caractéristiques cliniques de la PC et outils de classification

personne a besoin : indépendante ; nécessite une assistance ; ou dépendante pour manger et boire. Ainsi, l'EDACS va de la capacité indépendante à manger et boire de manière sûre et efficace comme ses pairs avec une large gamme de textures (niveau I) à la dépendance totale pour manger et boire et au recours à l'alimentation par sonde (niveau V). Dans une récente étude menée par Bykova et al., l'EDACS démontre une sensibilité de 78 % et une spécificité de 92 % dans l'identification clinique du risque de fausse route et l'utilisation combinée de l'EDACS et de la version pédiatrique de l'outil d'évaluation de l'alimentation est recommandée pour prendre des décisions concernant l'orientation vers une étude instrumentée de la déglutition. Sellers et al. ont développé la version Mini-EDACS publié en 2022, un système valide pour classer les performances alimentaires et hydriques des enfants de moins de 3 ans atteints de PC. Les résultats suggèrent une concordance modérée et une bonne fiabilité pour l'évaluation des niveaux du Mini-EDACS à partir d'enregistrements vidéo de jeunes enfants atteints de PC [125, 132-134].

Tableau 3: Cinq niveaux des système de classification fonctionnelle GMFCS, MACS, CFCS et EDACS selon Paulson 2017 [125]

	<i>Gross Motor Function Classification System (GMFCS)</i>	<i>Manual Ability Classification System (MACS)</i>	<i>Communication Function Classification System (CFCS)</i>	<i>Eating and Drinking Ability Classification System (EDACS)</i>
<i>I</i>	<i>Marche aussi bien en intérieur qu'en extérieur, sur tous types de terrains, avec un périmètre illimité. Capable de monter les escaliers sans aide des membres supérieurs. Capable de courir et de sauter, mais avec lenteur et éventuellement des troubles de l'équilibre et de la coordination.</i>	<i>Manipule les objets facilement et avec succès. Peut présenter des limitations dans l'aisance à exécuter des tâches manuelles qui requièrent de la vitesse et de l'exactitude. Pas de restriction d'autonomie dans les AVQ.</i>	<i>L'enfant est un émetteur et/ou récepteur efficace, aussi bien avec des partenaires inconnus que familiers.</i>	<i>Capable de manger et boire en toute sécurité et efficacement.</i>

Chapitre 4: Caractéristiques cliniques de la PC et outils de classification

<i>II</i>	<p><i>Marche aussi bien en intérieur qu'en extérieur, mais avec limitation du périmètre de marche. Peut présenter des difficultés d'équilibration sur certains terrains accidentés. Peut utiliser une aide humaine ou technique pour parcourir de longues distances. Monte et descend les escaliers en se tenant à la rampe. Incapacité ou capacité restreinte pour la course et les sauts.</i></p>	<p><i>Manipule la plupart des objets mais avec une diminution de la qualité et/ou vitesse d'exécution. Certaines tâches peuvent être évitées, achevées avec difficulté, ou en utilisant des stratégies de compensation. Pas de restriction d'autonomie dans les AVQ.</i></p>	<p><i>L'enfant est un émetteur et/ou récepteur efficace, aussi bien avec des partenaires inconnus que familiers, mais avec un rythme plus lent.</i></p>	<p><i>Capable de manger et boire en toute sécurité mais avec difficultés et lenteur.</i></p>
<i>III</i>	<p><i>Marche avec aide technique aussi bien en intérieur qu'en extérieur, sur de courtes distances. Monte et descend les escaliers avec aide des membres supérieurs et supervision/aide humaine. Utilisation autonome d'un fauteuil roulant pour les déplacements sur les longues distances.</i></p>	<p><i>Manipule la plupart des objets avec difficulté et a besoin d'aide pour préparer et/ou adapter la tâche à effectuer. La performance est lente et effectuée avec un succès limité en ce qui concerne la qualité et la quantité. Les plupart des AVQ sont exécutées de façon autonome si elles ont été préparées et/ou adaptées.</i></p>	<p><i>L'enfant est un émetteur et/ou un récepteur efficace, uniquement avec des partenaires familiers.</i></p>	<p><i>Capable de manger et boire avec des risques relatifs pour la sécurité (fausse route), avec difficultés et lenteur.</i></p>

Chapitre 4: Caractéristiques cliniques de la PC et outils de classification

IV	<i>Déplacements en fauteuil roulant manuel ou électrique dans la plupart des situations. Marche d'intérieur possible sur quelques pas avec une aide technique et/ou humaine adaptée.</i>	<i>Manipule une sélection limitée d'objets faciles à utiliser et dans des situations adaptées. Requiert un support continu et de l'assistance et/ou de l'équipement adapté, même pour une réalisation partielle de l'activité</i>	<i>L'enfant est capable de comprendre/de se faire comprendre de manière aléatoire, uniquement avec des partenaires familiaux.</i>	<i>Capable de manger et boire avec des risques importants pour la sécurité (fausse route), avec difficultés et lenteur.</i>
V	<i>Incapacité à maintenir la posture de la tête et du tronc contre pesanteur, sans une installation adaptée. Tous les déplacements se font en fauteuil roulant, avec assistance totale d'une tierce personne.</i>	<i>Ne manipule pas les objets et a une habileté sévèrement limitée pour effectuer les gestes les plus simples. Requiert une assistance totale.</i>	<i>L'enfant est rarement capable de comprendre/de se faire comprendre, même avec des partenaires familiaux.</i>	<i>Incapable de manger et boire sans danger. Alimentation par sonde naso-gastrique ou gastrostomie.</i>

Le développement d'une classification normalisée ou holistique de la PC est d'actualité et va de pair avec les progrès réalisés dans la compréhension de cette pathologie. Bax et al. ont proposé en 2005 un schéma de classification normalisé de la PC comprenant quatre éléments principaux, à savoir : 1. Anomalies motrices (a. nature et typologie des troubles moteurs et b. capacités motrices fonctionnelles) 2. Déficiences associées 3. Résultats anatomiques et radiologiques 4. Causes et moment d'apparition. À l'heure actuelle, la catégorisation des résultats d'imagerie cérébrale et l'identification des causes spécifiques de la PC présentent des limites évidentes. Par conséquent, en attendant des classifications neuroanatomiques et étiologiques complètes et acceptables, la classification multiaxiale minimale acceptable de la PC devrait inclure :

1. Classification des anomalies motrices selon le SCPE.

Chapitre 4: Caractéristiques cliniques de la PC et outils de classification

2. Déficiences associées
3. Niveaux de classification fonctionnelle pour : la fonction motrice globale/ambulatoire (GMFCS), les capacités manuelles (MACS), la communication (CFCS) et la capacité à manger et à boire (EDACS).

5 CAPACITES MOTRICES ET EFFICIENCE DE LA MARCHÉ CHEZ L'ENFANT PARALYSIE CÉREBRALE

Les capacités motrices d'un enfant atteint d'une PC sont directement liées à l'impact de cette pathologie sur la production de force et sur la dépense énergétique ; d'une part, la faiblesse musculaire est en rapport avec un dysfonctionnement neuromoteur central associée à des modifications des paramètres quantitatifs et qualitatifs musculaires, et d'autre part, la désadaptation cardiaque est en rapport avec une réduction des capacités en aérobie et une dépense énergétique élevée. Ces adaptations physiopathologiques des systèmes musculaires et cardiorespiratoires conditionnent particulièrement les capacités motrices des enfants, avec un impact certain sur l'efficacité de la marche.

5.1 Facteurs influençant les capacités motrices chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale

5.1.1 Altérations neuromusculaires responsables de la faiblesse musculaire

Le déficit important de production de force musculaire, résulte de la combinaison d'anomalies neuronales et musculaires ; ces deux dimensions interagissent de manière complexe et cumulative, limitant la capacité de l'enfant à produire, maintenir et moduler une contraction musculaire efficace et impactent négativement les performances fonctionnelles [135].

5.1.1.1 Mécanismes de dysfonction motrice neuronale

Les atteintes motrices supérieures caractéristiques de la PC (atteinte des voies corticospinales, altération du contrôle cortical et sous-cortical) entraînent des perturbations dans la planification, la coordination et l'exécution du mouvement. Les enfants atteints de PC utilisent une stratégie de contrôle neuromusculaire simplifié pendant la marche qui se traduit par : des unités motrices qui s'activent tardivement ou de façon irrégulière, une sommation des unités motrices altérée, des capacités de recrutement musculaire diminuées et une co-activation antagoniste accrue pendant

la marche et l'équilibre debout. Ainsi, la force effective générée par le muscle est réduite par une commande motrice inefficace et désorganisée [99, 136, 137].

5.1.1.2 Altérations structurelles et qualitatives du muscle

Au-delà des altérations centrales du contrôle moteur, la faiblesse musculaire observée dans la paralysie cérébrale découle également de profondes modifications structurelles, histologiques et mécaniques des muscles. Ces changements reflètent à la fois les conséquences directes de la lésion du système nerveux central et les effets secondaires d'une sous-utilisation chronique.

Plusieurs études ont démontré une réduction de la taille musculaire (volume, aire de section transversale mesurée par IRM ou échographie) ; Elder et al. 2003 ont rapporté une différence de 70% du volume des muscles de la jambe hémiplegique par rapport à la controlatérale. Plus récemment, Handsfield et al. puis Hanssen et al. ont rapporté une diminution du volume musculaire normalisé allant respectivement de 12 à 43 % et de 20 % à 44 %, par rapport aux enfants des mêmes âges typiquement développés. Cette hétérogénéité s'explique par le caractère asymétrique et sélectif de la réduction du volume musculaire, qui affecte préférentiellement les muscles antigravitaires (quadriceps, triceps sural, ischio-jambiers, abducteurs) et engendre des déséquilibres mécaniques altérant le schéma de marche. La réduction du volume musculaire constitue donc un facteur limitant majeur de la force et de la puissance nécessaires à la propulsion et à la stabilisation pendant la marche [138-140].

Les paramètres quantitatifs ne peuvent à eux seuls expliquer la corrélation entre production de force et modification musculaire. Selon Moreau et al, la relation entre la taille du muscle et la force générée est affaiblie chez les enfants avec PC ; autrement dit, à masse musculaire égale, le muscle produit moins de force qu'un muscle typiquement développé ; ce qui évoque que l'efficacité contractile réduite est associée à d'autres paramètres qualitatifs, notamment des propriétés structurelles et histologiques [141].

Les modifications structurelles, typiquement représentées par un nombre de sarcomères en série réduit et un raccourcissement du faisceau musculaire modifient le rapport longueur-tension, réduisent la capacité du muscle à générer une force optimale sur l'ensemble de son amplitude. Aussi les études d'imagerie (IRM,

échographie) montrent une infiltration de tissu adipeux et conjonctif accrue au sein du muscle, ces dépôts diminuent la compliance et altèrent la transmission de la force du muscle au tendon, ce phénomène influence négativement la contractilité et favorise la fatigue musculaire précoce [135, 141-143].

Sur le plan histologique, on observe une proportion anormale de fibres musculaires de type I (lentes oxydatives) et II (rapides glycolytiques). Une atrophie sélective de certaines fibres rapides, et une désorganisation des myofibrilles correspond à un muscle qui produit une action prolongée à faible force, mais qui ne peut pas générer de contractions rapides à coup élevé. Ces changements compromettent la vitesse de contraction et la résistance à la fatigue [144].

5.1.2 Adaptations cardiorespiratoires et réduction de la capacité aérobie

Dans le prolongement du déficit de force, les enfants avec PC présentent également des adaptations négatives au niveau cardiorespiratoire.

De nombreuses études anciennes et récentes ont confirmées une capacité aérobie nettement inférieure chez les enfants atteints de PC par rapport à celle de leurs pairs typiquement développés ; cette capacité est classiquement évaluée par la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$ ou $VO_2\text{peak}$), indicateur du potentiel aérobie global de l'organisme et de la capacité du système cardiorespiratoire à soutenir un effort prolongé. Pour Dallmeijer et al, lors de la marche, ces enfants doivent mobiliser une part plus importante de leur réserve aérobie : environ 52 % de leur $VO_2\text{max}$, contre 36 % chez les enfants au développement normal. Les travaux de Wijnhoud et al confirment également que les enfants avec PC, y compris ceux présentant une forme ambulatoire (GMFCS I-III), obtiennent des valeurs de $VO_2\text{peak}$ inférieures de 25 à 40 % à celles de leurs pairs sans atteinte neurologique. Ainsi, des activités considérées comme modérées pour un enfant sain deviennent proches du seuil maximal pour un enfant atteint de PC, ce qui se traduit par une fatigabilité accrue et une réduction notable de l'endurance fonctionnelle [3, 145, 146].

5.1.2.1 Conséquences des facteurs musculaires et cardiorespiratoires sur l'efficacité de la marche chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale

L'une des études fondatrices sur la dépense énergétique de la marche chez les enfants atteints de PC, publiée par Rose et al. en 1990, définit l'efficacité de la marche comme le rapport entre la dépense énergétique et la distance parcourue, elle dépend de l'intégrité des systèmes neuromusculaire et cardiorespiratoire. Cette efficacité énergétique conditionne la capacité à retarder l'apparition de la fatigue et à préserver un périmètre de marche nécessaire à la mobilité quotidienne, la participation sociale et la qualité de vie globale.

La corrélation entre faiblesse musculaire et inefficacité de la marche a été documentée et abordée à travers de multiples prismes ; tout d'abord Mockford et al. dans leur revue systématique ont confirmé que la faiblesse musculaire observée, compromet la capacité du muscle à générer et à maintenir la force nécessaire à une marche efficace et stable. Vient après en 2014 Pouliot et al. dans leur étude transversale, qui ont établi une corrélation entre la force des extenseurs et fléchisseurs du genou ainsi que la puissance de la cheville à une marche plus efficace. Ils ont ramené une participation à hauteur de 75 % des paramètres cinétiques de la cheville, et à eux seuls, dans la variance du coût énergétique. Dans la même perspective, Kimoto et al. ont étudié la relation entre la force musculaire des membres inférieurs et l'efficacité de la marche chez 29 enfants atteints de PC (GMFCS I-III) ; Les résultats ont montré que la force des extenseurs du genou et des fléchisseurs plantaires été fortement corrélée à une meilleure efficacité de la marche, tandis que la force des muscles proximaux de la hanche n'était pas significativement liée à la performance locomotrice. Enfin un des autres prismes, concerne les stratégies compensatoires que les enfants adoptent (par exemple : un drop foot, une flexion excessive du genou/hanche, une lordose pelvienne) comme adaptation du schéma de marche, qui bien qu'efficaces pour stabiliser la locomotion, augmentent néanmoins le travail mécanique et la consommation d'oxygène, rendant la marche moins efficace et plus coûteuse sur le plan énergétique. Ces schémas moteurs « économiquement inefficaces » deviennent chroniques et contribuent à une perte d'efficacité à la marche [2, 3, 144, 147, 148].

Sur le plan physiologique, dans l'article classique de Rose, les auteurs ont comparé le coût énergétique de la marche chez 31 enfants atteints de PC et 10 enfants typiquement développés ; les résultats ont été en faveur d'une consommation d'oxygène par mètre parcouru d'environ 3,3 fois plus élevée chez les enfants PC, traduisant une marche nettement moins efficace. Ces enfants mobilisent 50 à 55 % de leur VO_2 max pour une marche lente, contre seulement 30 à 35 % chez les témoins. Quelques années plus tard, ces résultats ont été consolidés et approfondis par Verschuren et al., puis Dallmeijer et al., qui soulignent que des efforts considérés comme modérés deviennent presque maximaux chez ces enfants. Plus récemment Wijnhoud et al. ont réalisé une méta-analyse portant sur 36 études comparant la capacité aérobie d'enfants atteints de PC à celle d'enfants au développement typique. Ils ont rapportés une réduction significative du VO_2 peak chez les enfants PC ($\approx 32,8$ mL/kg/min) comparé aux témoins ($\approx 45,0$ mL/kg/min, $\Delta \approx -12$ mL/kg/min). Cette différence a été plus marquée chez les enfants présentant un niveau fonctionnel plus bas (GMFCS III–IV). Les auteurs soulignent que ces enfants mobilisent une proportion plus importante de leur capacité aérobie pour des activités ordinaires, entraînant une fatigabilité précoce et un risque accru de déconditionnement [2, 3, 145, 146].

Pour conclure, il est important de souligner que la performance de marche n'est pas uniquement déterminée par la force musculaire ou uniquement par la capacité aérobie, mais par leur interaction, en effet une force musculaire réduite impose un travail musculaire plus important pour une vitesse donnée, ce qui accroît la sollicitation cardiorespiratoire, inversement, une capacité aérobie limitée restreint l'aptitude à produire ou maintenir un travail musculaire intense et prolongé.

5.1.2.2 Évaluation quantitative des capacités motrices chez les enfants paralysie cérébrale

Classer la fonction des enfants PC en différents grades de sévérité permet de regrouper ceux qui ont des capacités comparables, et donc de décrire les performances motrices de façon simple. Pour suivre l'évolution fonctionnelle d'un enfant atteint de PC, il est nécessaire de disposer d'évaluations reproductibles et précises comparables au fil du temps. Des appréciations vagues comme « *il tombe souvent* », « *il est gêné en terrain accidenté* », « *la course est difficile* », « *il se fatigue*

vite » ne peuvent être exploitées pour savoir si les performances du sujet sont stables, s'améliorent ou se dégradent. Les différentes échelles récentes et validées pour la PC sont basées sur les capacités de postures et de déplacement.

5.2 Échelles d'évaluation de la fonction motrice les plus utilisées

5.2.1 Le GMF-CS de Palisano

Déjà cité dans le chapitre 4, et rattaché en Annexe 1, Le GMFCS est aujourd'hui l'échelle de référence mondiale pour la classification du niveau fonctionnel global des enfants et adolescents atteints de PC.

Le GMFCS vise à décrire les performances motrices habituelles, et non la capacité maximale, dans des contextes de vie quotidienne. Il se base sur les compétences de déplacement, d'équilibre et d'utilisation d'aides techniques, en mettant l'accent sur la qualité de la marche et le mode de mobilité privilégié (autonome, assisté, ou motorisé).

L'échelle se décline selon cinq tranches d'âge (0–2, 2–4, 4–6, 6–12 et 12–18 ans) et cinq niveaux fonctionnels ordonnés, du plus autonome au plus dépendant.

Tableau 4: Niveaux du GMFCS

Niveau	Description générale
I	<i>Marche indépendante sans limitation ; court, monte les escaliers sans aide</i>
II	<i>Marche avec quelques limitations, surtout sur terrains irréguliers ou escaliers</i>
III	<i>Déplacement avec aide technique (déambulateur, canne, etc.)</i>
IV	<i>Mobilité autonome limitée ; recours fréquent à un fauteuil motorisé ou assistance physique</i>
V	<i>Dépendance complète pour les déplacements ; utilisation d'un fauteuil roulant manuel</i>

Les niveaux I à III regroupent les enfants ambulants, tandis que les niveaux IV et V concernent les formes les plus sévères, souvent non ambulantes [123, 124, 149].

Le GMFCS s'applique de manière fiable dès l'âge de 2 ans et jusqu'à 18 ans, bien qu'il n'ait pas encore été validé chez l'adulte. De nombreuses études ont confirmé la

fiabilité inter- et intra-évaluateur du GMFCS, avec un coefficient de corrélation intra-classe (CCI) supérieur à 0,90. L'outil présente également une stabilité temporelle élevée, ce qui permet d'utiliser le même niveau de classification pour suivre l'évolution fonctionnelle à long terme. Huroy et al. ont montré que le niveau GMFCS atteint vers l'âge de 5 ans reste généralement stable au long terme, confirmant la valeur pronostique de cette classification [124, 150].

Le GMFCS a ensuite été adapté pour les parents (*GMFCS – Family Report Version*), permettant une évaluation fiable même en dehors du cadre clinique. Cette adaptation a renforcé son usage dans les études populationnelles et les registres internationaux comme le registre européen SCPE [151].

Le GMFCS est largement utilisé dans les études épidémiologiques, cliniques et interventionnelles pour : stratifier les participants selon le niveau fonctionnel ; corrélérer les niveaux GMFCS à des mesures objectives telles que la force musculaire ou la consommation énergétique lors de la marche et enfin évaluer l'impact des interventions rééducatives, orthopédiques ou chirurgicales sur la capacité fonctionnelle [145, 146].

Le GMFCS présente plusieurs avantages cliniques notamment une simplicité et rapidité d'utilisation, une stabilité dans le temps, une très bonne fiabilité inter-observateur ainsi qu'une forte valeur pronostique de la mobilité. Cependant, ses limites résident dans son caractère global, ne tenant pas compte des performances fines (vitesse, endurance, efficacité énergétique), dans l'absence d'évaluation de la qualité du mouvement, et sa non-validation pour les adultes au-delà de 18 ans.

5.2.2 Functional Mobility Scale

Le Functional Mobility Scale (FMS), développée par Graham et al. à l'Hôpital Royal pour enfants de Melbourne en Australie, quantifie la mobilité fonctionnelle chez les enfants atteints de PC âgés de 4 à 18 ans, qui est un aspect clé des domaines de l'activité et de la participation de la classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. Le FMS consiste à préciser les conditions de déplacement dans trois types d'environnement : la maison ou 5 mètres, l'école ou 50 mètres et le centre commercial ou 500 mètres. Pour chaque distance, les parents définissent le mode de déplacement habituel de leur enfant selon six possibilités : de 1 (utilise un

Chapitre 5: Capacités motrices et efficacité de la marche chez l'enfant PCPC

fauteuil roulant ou une poussette ; peut tenir debout lors des transferts et peut faire des pas soutenu par une tierce personne ou en utilisant un cadre) à 6 (indépendant quel que soit le terrain : n'a besoin ni d'aide technique de marche, ni de l'aide d'une tierce personne pour marcher, courir, grimper et monter les escaliers). Cette structure tridimensionnelle (trois distances x six niveaux) permet de dresser un profil fonctionnel individualisé, reflétant la capacité réelle de déplacement dans les activités quotidiennes [152, 153].

L'évaluation peut être réalisée rapidement, par observation directe ou par interrogation des parents. Le FMS a été validé avec une excellente fiabilité inter-observateur (CCI > 0,90) et test-retest ; aussi, une corrélation significative ($r \approx 0,80$) a été rapportée entre le FMS et le GMFCS, démontrant qu'il peut affiner l'évaluation du niveau fonctionnel global, notamment dans les niveaux GMFCS II à IV, de ce fait, en complément du GMFCS, il offre une vision dynamique et écologique de la mobilité fonctionnelle, facilitant l'évaluation des progrès liés aux interventions thérapeutiques et l'identification des limitations réelles de participation dans la vie quotidienne [152, 153].

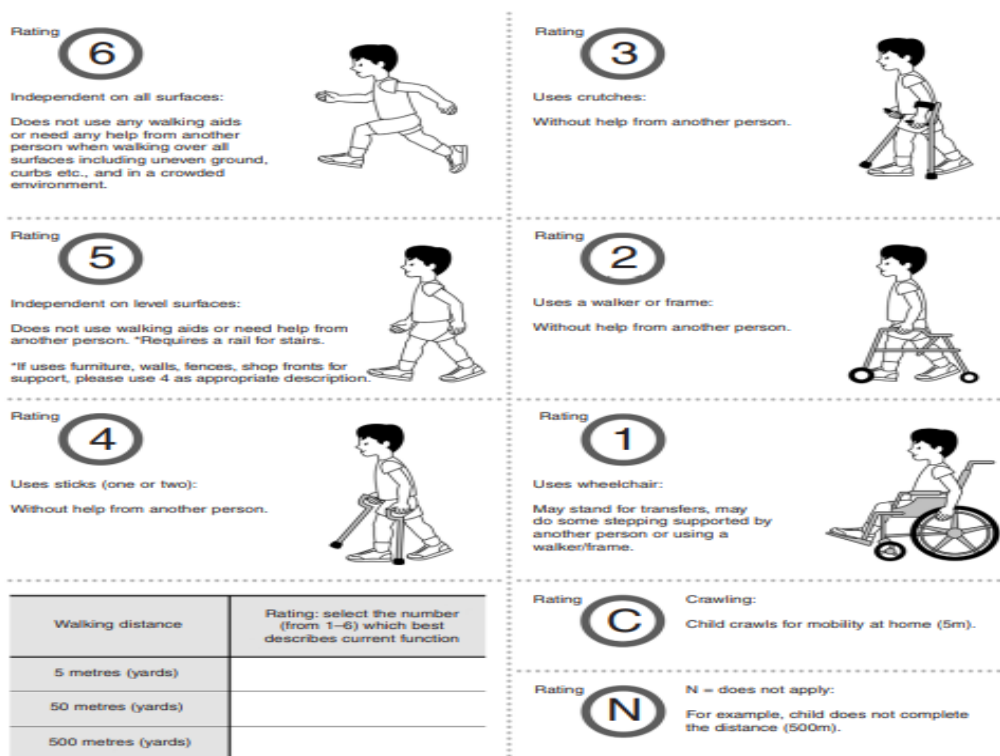


Figure 12: Functional Mobility Scale (FMS) [152]

5.2.2.1 Ability to Locomote for Children

L'Ability to Locomote for Children (ABILOCO-Kids) est un questionnaire standardisé à 10 items développé spécifiquement pour évaluer la capacité de locomotion des enfants atteints de PC ; il est conçu selon le modèle de mesure de Rasch et permet de quantifier la difficulté relative des activités locomotrices et le niveau de compétence fonctionnelle de l'enfant sur une échelle unidimensionnelle et hiérarchisée. Contrairement aux échelles descriptives classiques, l'ABILOCO-Kids vise à mesurer une dimension latente unique : la capacité locomotrice.

Chaque item correspond à une activité de locomotion de difficulté croissante, allant de tâches de base (marcher sur terrain plat) à des activités plus complexes (courir, monter et descendre les escaliers...). Le modèle de Rasch permet de convertir les réponses qualitatives en valeurs quantitatives exprimées, offrant une mesure linéaire, objective et comparable entre les patients. Une corrélation significative a été établie entre le GMFMD et le questionnaire ABILICO-KIDS par Engineer et al 2014 et une version en langue arabe a été validé par Alnahdi et al 2022 [[154-156](#)].

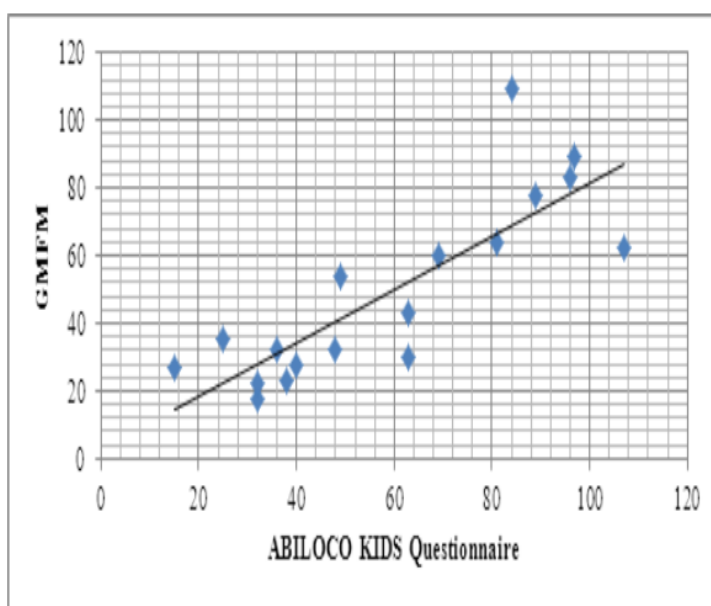


Figure 13: Corrélation entre le GMFMD et le questionnaire ABILOCO-Kids [[155](#)]

مامدى صعوبة الأنشطة الحركية التالية؟				مستحيل	صعب	سهل	؟
١.	الصعود منفرداً في الدرج الكهربائي						
٢.	صعود الدرج مع وضع كل قدم على الدرجة التالية بالتبادل						
٣.	المشي للخلف						
٤.	المشي لعدة دقائق بنفس سرعة الطفل السليم						
٥.	نزول الدرج مع وضع كل قدم على الدرجة التالية بالتبادل						
٦.	الجري بشكل سليم حتى عند الدوران أو الإنعطاف						
٧.	المشي مع الإمساك بشيء قابل الكسر (مثل كأس زجاج مملوء)						
٨.	المشي لأقل من ٥ أمتار داخل المنزل معتمداً على الإمساك بقطع الأثاث						
٩.	الإنفاف والمشي في مساحة ضيقة						
١٠.	صعود و نزول الدرج بدون الإمساك بالدرارزين (الحاجز الجانبي)						

Figure 14: Version arabe de l'ABILOCO-Kids [156]

5.2.2.2 Évaluation Motrice Fonctionnelle Globale

L'évaluation motrice fonctionnelle globale (GMFM) est un outil d'observation standardisé, traduit de l'échelle canadienne « *Gross Motor Function Measure* » conçue et validée pour mesurer les changements dans la motricité fonctionnelle globale au fil du temps chez les enfants atteints de PC.

La version originale GMFM-88 composée de 88 items répartis en 5 dimensions qui peuvent être analysées séparément : A (couché et retournements), B (position assise), C (quatre pattes et à genoux), D (station debout) et E (marche, course et saut) et chaque item est coté de 0 à 3 (0 = ne réalise pas l'activité ; 3 = réalise complètement). Chaque dimension est exprimée en pourcentage ; le score total correspondant à la moyenne des scores des cinq dimensions [157].

Le GMFM-66 version réduite à 66 items, obtenue par analyse de type Rasch pour produire une échelle unidimensionnelle à échelonnement interval (0-100) ; il permet un score intervalle (via le logiciel *Gross Motor Ability Estimator*) plus adapté aux analyses statistiques et à la détection de changements cliniquement significatifs. Les 22 items supprimés dans cette version appartiennent tous aux dimensions A, B et C, il est donc moins informatif pour les enfants les plus déficients mais plus sensible au changement pour les plus performants [158].

Le GMFM-66 reste l'outil de choix pour évaluer l'efficacité des programmes d'intervention (rééducation intensive, robotique...) et pour comparer des cohortes stratifiées par GMFCS [159].

Le GMFM (88 et 66) constitue la référence standard pour l'évaluation quantitative de la motricité globale chez les enfants atteints de PC. Son choix et son interprétation doivent être faits en fonction du profil fonctionnel (ambulant vs non ambulant), des objectifs (suivi clinique vs recherche) et en complément d'outils mesurant l'efficacité de la marche (VO_2 /ergospirométrie, IDE, 6MWT, analyse 3D) lorsque l'on souhaite lier les capacités motrices aux indicateurs énergétiques et biomécaniques.

5.2.2.3 Gillette Gait Index

Le Gillette Gait Index (GGI) est un outil conçu par Shuttle et al., valide, sensible et spécifique mais avec une fiabilité modérée intra et inter-observateurs. Il permet une évaluation de la marche en trois dimensions des patients PC en fonction de la déviation comparée à une base de données normative issue d'enfants au développement typique. La norme se base sur 16 paramètres tirés des données de l'analyse quantifiée de la marche (AQM) d'une population saine contrôle, autour de 5 structures anatomiques (bassin, hanche, genou, cheville et pied) ; l'index augmente avec la sévérité du déficit. Chaque membre peut être analysé séparément (GGI droit, GGI gauche), ce qui permet de détecter les asymétries marquées entre les côtés atteint et sain (notamment chez les hémiplésiques) [160].

Le GGI a été utilisé parallèlement à des mesures de dépenses énergétiques par Michnik et al. pour fournir une évaluation complète de la marche chez les enfants atteints de PC offrant une vision multidimensionnelle de leurs performances [161].

5.2.3 Évaluation des capacités motrices au sein d'échelles multifactorielles

5.2.3.1 Mesure d'Indépendance Fonctionnelle Mômes

La mesure d'indépendance fonctionnelle (MIF), publiée en 1987 par Hamilton et Granger aux États-Unis est l'instrument de référence en médecine physique et de réadaptation, utilisée pour la recherche, la pratique clinique, et l'évaluation de la qualité des soins. La version pour les enfants, la MIF-Mômes a été adaptée en 1992. La MIF a atteint un statut d'outil de référence «gold standard» dans le champ de la

Chapitre 5: Capacités motrices et efficience de la marche chez l'enfant PCPC

médecine physique et réadaptation (MPR); elle permet l'évaluation de la dépendance dans sa dimension motrice, mais aussi cognitive, psychologique, et comportementale. Elle est principalement conçue pour évaluer les limitations d'activités et le besoin d'aide (aides techniques ou assistance physique) et reflète à ce titre la charge en soins.

Le MIF mêmes s'adresse aux enfants de 6 mois à 12 ans (au-delà on utilise la version adulte). Il s'agit d'un questionnaire constitué de six domaines : les soins personnels, le contrôle des sphincters, la mobilité, la locomotion, la communication, et la conscience du monde extérieure. Les quatre premiers évaluent l'autonomie dans la vie quotidienne ; les deux dernières les capacités cognitives. La cotation comprend sept niveaux qui reflètent quantitativement et qualitativement l'aide nécessaire au sujet pour remplir la fonction : les niveaux 6 et 7 correspondent à une autonomie complète ou modifiée (sans aide humaine), le niveau 1 à une assistance complète. Le score total varie de 18 à 126, le maximum correspondant aux capacités d'un enfant valide de 8 ans. La cotation prend en compte ce que l'enfant effectue réellement dans sa vie quotidienne et non pas ce qu'il est capable de faire. Le temps de passage du questionnaire, dans des conditions optimales, est d'environ vingt minutes lorsqu'il est mené par un professionnel.

La forme graphique en diagramme radar du MIF Mêmes, offre une vision d'ensemble rapide, visuelle et comparative des forces et faiblesses de l'enfant dans ses activités quotidiennes. Les scores sont reliés entre eux par une ligne polygonale, plus la surface est grande, plus l'enfant est autonome ; plus la surface est réduite ou irrégulière, plus il existe des domaines à travailler ; elle facilite ainsi la discussion entre kinésithérapeutes, ergothérapeutes et orthophonistes et est très utile pour la communication avec les parents en leur montrant visuellement les progrès avant et après rééducation [[162](#), [163](#)].

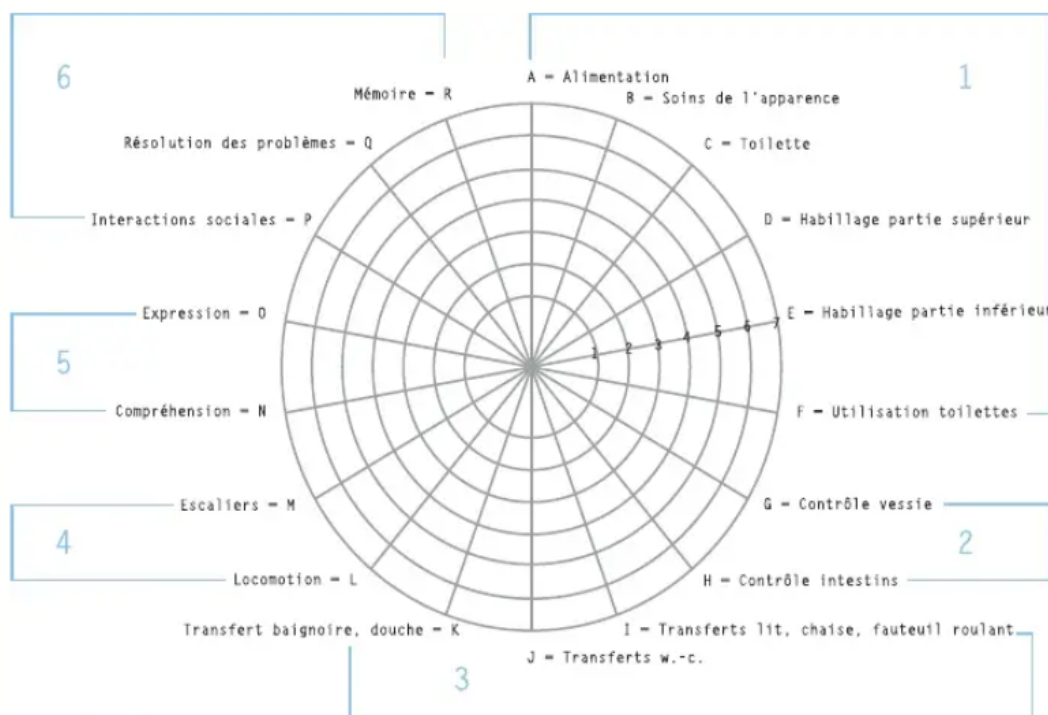


Figure 15: Diagramme radar de la MIF Mômes

5.2.3.2 Pediatric Outcom Data Collection Instrument

Le Pediatric Outcom Data Collection Instrument (PODCI) est une partie du questionnaire de santé de la fonction musculo-squelettique de la Pediatric Orthopedic Society of North America. Il a été construit à l'usage des chirurgiens orthopédiques pour évaluer l'enfant avant et après traitement. Il est validé pour les enfants entre 2 et 18 ans. Il comporte des questions pour les enfants, les adolescents et les parents concernant plusieurs domaines : le membre supérieur et la fonction physique, sports et fonction physique, transfert et mobilité de base, douleur et confort, bonheur et satisfaction, fonctionnement avec les pairs, fonction sociale et fonctionnement global. Chaque domaine est noté sur une échelle de 0 à 100, les scores les plus élevés indiquant un meilleur fonctionnement et une meilleure qualité de vie. L'utilisation du PODCI dans la recherche et la pratique clinique sur la PC peut fournir des informations précieuses pour améliorer les soins et les résultats des enfants atteints de cette maladie [164].

5.2.3.3 Canadien Occupational Performance Measure

Cette mesure, utilisée par les ergothérapeutes, a pour objectif de détecter un changement dans la perception du sujet de ses capacités motrices au quotidien. Elle se présente sous la forme d'une interview semi-dirigée avec une cotation précise et la passation nécessite 20 à 40 minutes [165]

5.2.3.4 Pediatric Evaluation of disability Inventory

Ce questionnaire a été développé pour les enfants avec handicap ou porteurs de maladies chroniques, âgés de 6 mois à 7 ans et demi. Il évalue trois domaines : « self care », « mobility », and « social function ». Chaque domaine comprend trois dimensions : « functional skill level », « caregiver assistance » et « modifications ». Le test peut être passé à partir de l'évaluation des cliniciens ou éducateurs ou en interrogeant la personne qui s'occupe de l'enfant [166].

5.3 Évaluations quantitatives des capacités de marches

Dans l'environnement quotidien, il est important, non pas seulement de marcher confortablement, mais aussi d'être capable d'augmenter sa vitesse de marche en fonction des situations auxquels on doit faire face. De plus, le périmètre de marche, ou la distance que l'individu est capable de parcourir, autrement dit son endurance à la marche, est un élément clé pour son intégration sociale et sa qualité de vie. Ainsi, il est primordial que les évaluations de la marche soient précises lorsque l'objectif est d'étudier la marche dans son ensemble. Les capacités de marche sont la vitesse maximale de marche (l'habileté de marcher le plus rapidement possible), l'endurance à la marche (la capacité de marcher sur une plus grande distance) et l'efficacité de la marche (le coût énergétique rapportée à la distance parcourue). Ces capacités de marche déterminent l'habileté de l'individu à faire face à des situations particulières de la vie quotidienne. Conséquemment, ces habiletés influencent grandement la participation de l'individu dans sa communauté [167].

5.3.1 Vitesse de marche

La vitesse de marche est souvent qualifiée de « *sixième signe vital* » en réadaptation, car elle prédit le niveau d'indépendance fonctionnelle, la participation sociale et même la qualité de vie. Chez l'enfant atteint de PC, elle reflète la capacité à initier,

maintenir et coordonner un déplacement efficace, en intégrant la force musculaire, le contrôle postural, l'équilibre et les capacités cardiorespiratoires [168].

La vitesse de marche peut être mesurée de manière quantitative en conditions standardisées, il est cependant essentiel de distinguer deux conditions de test : la vitesse confortable « Preferred Walking Speed » (PWS) et la vitesse rapide « Fast Walking Speed » (FWS). La première correspond à la vitesse de marche choisie spontanément par l'enfant, c'est-à-dire celle qu'il adopte naturellement sans consigne particulière, elle est considérée comme un indicateur représentatif de la marche fonctionnelle au quotidien; quant à la deuxième, elle correspond à la vitesse maximale sûre que l'enfant peut atteindre sans courir et sans perdre la stabilité ; elle représente la marge d'adaptation de l'enfant à un environnement exigeant comme traverser une rue, éviter un obstacle, etc. [3, 145].

Ces deux paramètres ne mesurent pas exactement la même chose et apportent des informations complémentaires sur la performance locomotrice et les capacités adaptatives de l'enfant. Le rapport entre la FWS et la PWS constitue un indicateur de flexibilité locomotrice, il reflète la capacité à moduler la vitesse de marche qui est essentiel au contrôle moteur et à l'adaptation fonctionnelle chez les enfants atteints de PC.

La solide étude de Davids et al. menée sur une cohorte de 212 enfants GMFCS I à III, montre que la majorité des enfants présentent une réelle aptitude à augmenter leur vitesse lorsqu'on leur demande de marcher « aussi vite que possible ». Au total, 85 % d'entre eux parviennent à dépasser la *Minimal Clinically Important Difference* (MCID), avec toutefois de fortes disparités fonctionnelles : 96 % des enfants GMFCS I et 99 % des GMFCS II sont capables d'accélérer, contre seulement 34 % des enfants GMFCS III. Chez les enfants capables d'augmenter leur vitesse, l'accélération observée est substantielle, avec une amélioration moyenne d'environ +43 à +44 % par rapport à la vitesse confortable, des valeurs qui restent inférieures à celles observées chez les enfants au développement typique +54 %, ils utilisent cependant selon Davids et al. des stratégies similaires à celles d'enfants typiques (augmentation conjointe de la cadence et de la longueur de pas). L'analyse comparative des vitesses absolues révèle néanmoins des différences importantes selon le niveau GMFCS : les

vitesse confortables varient de 1,03 m/s (GMFCS I) à 0,72 m/s (GMFCS III), et les vitesses rapides de 1,46 m/s (GMFCS I) à 1,19 m/s (GMFCS III), témoignant d'un plafond de performance plus bas dans les formes modérées. Ces données suggèrent qu'au-delà du simple niveau de vitesse, la capacité d'augmenter la vitesse constitue un marqueur fonctionnel plus discriminant, révélant le potentiel adaptatif du système locomoteur. L'auteur propose d'ailleurs de distinguer au sein du GMFCS III deux sous-profil : IIIa : enfants capables d'accélérer ; IIIb : enfants incapables d'accélérer, reflétant une fragilité plus marquée de l'équilibre dynamique. Ainsi, cette étude met en lumière l'intérêt clinique de la mesure de vitesse rapide, non seulement comme indicateur de performance locomotrice, mais aussi comme outil d'évaluation du potentiel d'adaptation, utile pour guider les décisions thérapeutiques (rééducation intensive, appareillage, chirurgie multi-étagée) et pour affiner le pronostic fonctionnel [169].

L'étude de Carcreff et al., a comparé la vitesse de marche en laboratoire à celle observée dans la vie quotidienne grâce à des capteurs portables, apportant des informations majeures sur l'écart entre performance « testée » et performance réelle chez les enfants atteints de PC. L'auteur montre que les enfants PC marchent significativement plus lentement dans leur environnement quotidien (0,91 m/s) que lors de l'évaluation en laboratoire (1,07 m/s), contrairement aux enfants au développement typique dont la vitesse reste similaire entre les deux contextes. Cette différence reflète la difficulté des enfants PC à maintenir spontanément une vitesse proche de leur potentiel maximal en dehors d'un cadre structuré. De plus, l'activité de marche quotidienne était nettement réduite : moins de pas par jour, moins de temps passé à marcher, et une diminution importante des pas consécutifs le week-end. Malgré cela, une corrélation très élevée ($\rho = 0,89$) entre la vitesse en laboratoire et la vitesse en vie réelle suggère que la mesure en condition contrôlée reste un indicateur pertinent du niveau fonctionnel, en particulier chez les niveaux GMFCS III. Enfin, la vitesse enregistrée en laboratoire correspondait en moyenne au 60^e percentile de la distribution des vitesses de vie réelle chez les enfants PC, confirmant qu'ils marchent habituellement à des vitesses inférieures à leurs capacités maximales. Cette étude met ainsi en évidence l'importance de compléter les tests

cliniques par des mesures écologiques afin de mieux saisir le comportement locomoteur réel de l'enfant [170].

Dans la littérature, une amélioration de la vitesse de marche supérieure à 0,1 m/s est généralement reconnue comme cliniquement significative, indiquant un gain fonctionnel perceptible dans la vie quotidienne. Ce seuil a été confirmé par plusieurs travaux notamment par Oeffinger et al. dans une large cohorte multicentrique et plus récemment par Volpini et al., qui ont validé ce seuil comme MCID pour les tests de marche rapide et de 6 minutes chez les enfants atteints de PC ambulants (GMFCS I–III) [171-173].

Les tests les plus utilisés en pratique clinique et dans la recherche sont :

5.3.1.1 Test de marche de dix mètres

Le test de marche de dix mètres (10MWT) est un test simple, reproductible et largement utilisé pour quantifier la vitesse de marche chez l'enfant avec PC. Les revues méthodologiques récentes confirment sa validité et sa fiabilité à condition d'appliquer un protocole standardisé. Le 10MWT permet de détecter des améliorations fines de la performance locomotrice après rééducation, chirurgie orthopédique ou injection de toxine botulinique. Ce test consiste à mesurer le temps nécessaire pour parcourir 10 mètres à une PWS et à une FWS. Il est effectué sur un terrain plat comprenant 2 mètres d'accélération, suivis de 10 mètres de marche dont le parcours est mesuré avec un chronomètre et de 2 mètres de décélération. La personne est en position debout statique, les deux pieds derrière la première ligne du repère 1 (de la figure 14). Selon la vitesse choisie (FWS ou PWS), les instructions sont les suivantes : « Vous devez marcher jusqu'au repère 4, à votre vitesse de marche habituelle » ou « aussi vite que possible et en sécurité, sans courir, comme si vous vouliez rattraper un bus ». Le test commence par un signal verbal, l'examineur enclenche le chronomètre au moment où le premier pied de la personne passe le repère 2 (« 0 m ») ; il arrête le chronomètre au moment où le premier pied de la personne passe le repère 3 (« 10 m »). Trois essais dans des conditions identiques (procédure et environnement) sont réalisés ; la moyenne des trois essais est calculée, ou la meilleure performance est retenue selon les protocoles. Les mêmes instructions doivent être utilisées lors de chaque passation du test. Aucun stimulus verbal ou

motivational n'est donné pendant la marche. En cas d'utilisation d'une aide de marche, il est important de le notifier dans le dossier [174-176].

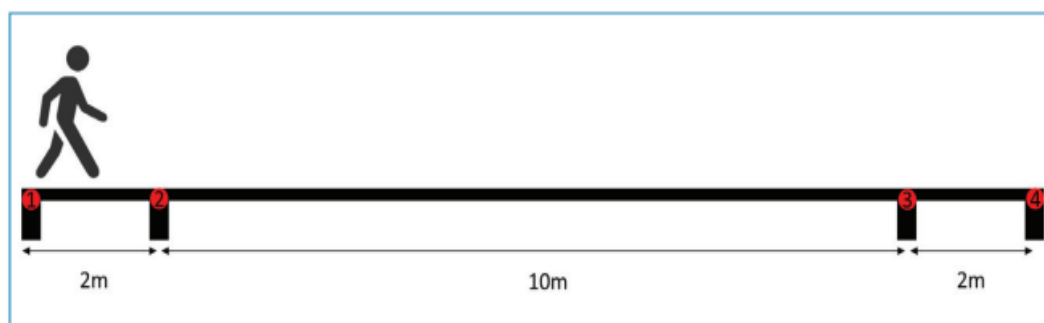


Figure 16: Dispositif du 10MWT sur un parcours de 14 mètres

5.3.1.2 Timed Up and Go Test

Le Timed Up and Go Test (TUG) est l'un des tests cliniques les plus utilisés pour évaluer la mobilité fonctionnelle et la capacité de déplacement dynamique chez les enfants atteints de PC. Dans leur revue systématique, Saether et ses collaborateurs ont identifié le TUG comme un outil pertinent pour apprécier les limitations de l'équilibre et de la marche chez ces enfants, tout en soulignant que l'hétérogénéité des protocoles employés dans la littérature peut influencer les résultats. Dhote et al. puis Carey et al. ont confirmé également une très bonne fiabilité chez les enfants GMFCS I à III, et ont proposé des valeurs normatives permettant d'interpréter le changement : le changement minimal détectable (MDC) se situe entre 1,4 et 8,7 secondes, tandis que le MCID est estimé entre 0,22 et 5,31 secondes selon le niveau GMFCS. Par ailleurs, Verbecque et al. a montré que chez les enfants d'âge préscolaire, l'utilisation d'un protocole adapté (hauteur de chaise modifiée, instructions simplifiées) est indispensable pour garantir la fiabilité de la mesure [110, 177-179].

Afin de garantir la reproductibilité des mesures, il est recommandé d'adopter un protocole standardisé : utiliser une chaise stable sans accoudoirs, de hauteur adaptée (genoux à 90°, pieds au sol), matérialiser une distance de 3 mètres sur une surface plane, et autoriser l'utilisation de l'aide technique habituelle, qui doit être systématiquement notée. L'enfant débute assis, dos au dossier, mains sur les cuisses; l'instruction standardisée est : « Lorsque je te le dis, tu te lèves, tu vas jusqu'à la ligne à ton allure habituelle, tu fais demi-tour, tu reviens t'asseoir ». Après un essai

d'entraînement, deux essais chronométrés sont réalisés et la meilleure performance est retenue, conformément aux recommandations de Carey. Pour les enfants GMFCS III ou plus jeunes, Verbecque suggère d'adapter la hauteur de la chaise, de simplifier les consignes et de fournir un guidage verbal renforcé [178, 179].

Dans le suivi longitudinal, il est essentiel de répéter le test dans des conditions strictement identiques (même matériel, aide technique, distance, moment de la journée) et d'interpréter les variations de temps en fonction des valeurs MDC et MCID propres au niveau fonctionnel de l'enfant, telles qu'établies par Carey.

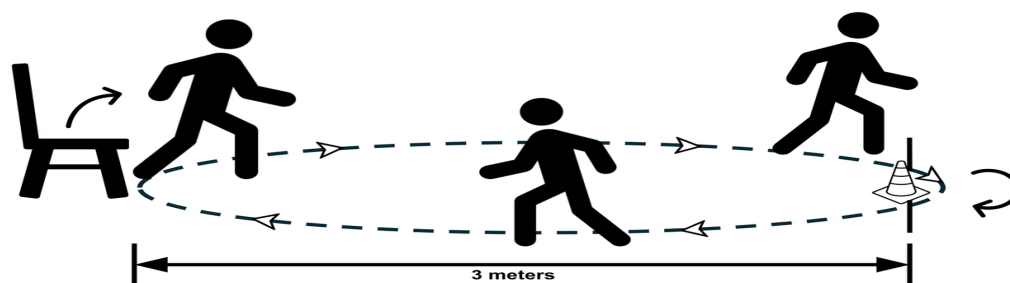


Figure 17: TUG test

5.3.1.3 Instrumentation de la vitesse de marche

L'évaluation instrumentée de la marche s'est largement développée au cours des deux dernières décennies, permettant une mesure beaucoup plus fine, objective et reproductible des paramètres spatiotemporels, dont la vitesse de marche. Les tapis de marche instrumentés, les plateformes capacitives ou encore les systèmes portables de capteurs inertiels constituent aujourd'hui des outils de référence en recherche clinique et biomécanique. Le tapis par exemple, enregistre de manière automatique l'empreinte plantaire, la longueur du pas, la cadence, la variabilité inter-pas, la symétrie droite-gauche et la vitesse de déplacement sur plusieurs foulées continues. Sa validité et sa fiabilité sont bien établies chez l'enfant en situation de handicap moteur, y compris en PC, avec des CCI élevés (>0,85) pour la vitesse, la longueur du pas et la cadence [180].

Les systèmes d'analyse tridimensionnelle du mouvement (3D gait analysis), basés sur la capture optique (Vicon®, Qualisys®), représentent quant à eux la méthode de référence « gold standard » pour quantifier précisément les cinématiques articulaires, les cinétiques, les moments articulaires et la puissance musculaire. Ces systèmes permettent non seulement de mesurer la vitesse de marche avec une grande précision, mais également d'analyser comment celle-ci se modifie en fonction des limitations neuromusculaires spécifiques à la PC (spasticité, faiblesse, co-contraction, raideur passive). Ils offrent ainsi une compréhension fine des stratégies compensatoires adoptées par l'enfant pour augmenter ou maintenir sa vitesse, comme l'augmentation de la cadence au détriment de l'amplitude du pas, un mode de propulsion altéré ou une asymétrie persistante entre les membres inférieurs [170, 180, 181].

Enfin, le développement récent des technologies portables (IMUs, capteurs embarqués) permet une évaluation écologique de la vitesse dans des environnements réels (école, domicile, extérieur). Ces outils permettent de comparer les vitesses mesurées en laboratoire à celles réellement utilisées au quotidien, un point particulièrement pertinent chez l'enfant PC puisque plusieurs travaux montrent que la vitesse réelle est souvent inférieure à celle obtenue en environnement contrôlé, en raison de la fatigabilité, des contraintes environnementales et du besoin de sécurité [170, 181].

Dans leur ensemble, ces technologies instrumentées offrent des mesures plus sensibles au changement que les tests cliniques simples (10MWT, TUG), et sont recommandées lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact d'une intervention (toxine botulique, physiothérapie intensive, chirurgie), de détecter de petites variations de performance ou de documenter la cinématique de marche dans une approche multimodale intégrée.

5.3.2 Endurance à la marche

L'endurance à la marche conditionne le périmètre de marche et l'apparition de fatigue, il est alors important de l'évaluer sur des distances correspondant aux déplacements de la vie quotidienne, afin de mieux appréhender la capacité réelle de

l'enfant à se déplacer dans son environnement et à participer aux activités sociales et scolaires.

Sur le plan clinique, l'évaluation de l'endurance à la marche repose principalement sur des tests de marche prolongée standardisés, au premier rang le test de marche de six minutes (6-Minute Walk Test, 6MWT), qui est aujourd'hui considéré comme la mesure de référence dans la PC GMFCS I à III. D'autres outils, tels que le test de marche de deux minutes (2MWT), les tests navette (shuttle walk/run test) ou des questionnaires spécifiques comme l'Early Activity Scale for Endurance (EASE), viennent compléter cette évaluation en fournissant une vision plus globale de l'endurance dans la vie quotidienne.

5.3.2.1 Test de marche de six minutes

Le test de marche de six minutes (6MWT) créé par Butland et collaborateurs en 1982 à partir de l'adaptation du test de Cooper qui évaluait l'endurance sur 12 minutes chez l'adulte sain, il a d'abord été utilisé chez des patients souffrant de pathologies respiratoires. Chez l'adulte, ce test s'est imposé comme un outil clinique incontournable pour le suivi de nombreuses affections chroniques cardiovasculaires, respiratoires ou métaboliques car il reflète la capacité à soutenir un effort comparable aux activités de la vie courante. Même si la plupart des sujets n'atteignent pas leur capacité maximale au cours du test, plusieurs travaux montrent une association notable ($r \approx 0,73$) entre la distance parcourue et le VO_2 max dans des populations sévèrement limitées sur le plan respiratoire [182, 183].

Ces dernières années, l'utilisation du 6MWT s'est étendue au domaine pédiatrique, tant pour établir des valeurs normatives chez l'enfant sain que pour servir de critère d'efficacité dans des programmes d'intervention ciblant les enfants atteints de PC. Le 6MWT consiste à mesurer la distance maximale parcourue en six minutes sur un parcours rectiligne, à une vitesse auto-sélectionnée. Il s'agit d'un test sous-maximal, particulièrement adapté à l'enfant PC car il reproduit une situation de marche prolongée proche des demandes de la vie réelle, comme des déplacements à l'école, au domicile, dans la communauté [182].

Chez les enfants atteints de PC, plusieurs études ont confirmé la validité et la fiabilité du 6MWT. Thompson et al. ont montré une excellente fiabilité test-retest (CCI=0,98)

chez des enfants d'âge scolaire GMFCS I à III, tandis que Nsenga Leunkeu et collaborateurs ont confirmé sa reproductibilité et sa sensibilité aux effets d'un programme d'entraînement sur tapis roulant. Plus récemment, les travaux de Fiss et al. ont mis en évidence une forte corrélation entre la distance du 6MWT et l'échelle EASE, qui mesure l'endurance perçue dans la vie quotidienne ; ces résultats confortent la validité convergente du 6MWT en tant que reflet de l'endurance fonctionnelle réelle [184-187].

Une autre étude de Fiss et al. a par ailleurs fourni des courbes de référence (percentiles) du 6MWT en fonction de l'âge et du niveau GMFCS, permettant de situer l'enfant par rapport à des trajectoires développementales typiques : les enfants GMFCS I-II présentent une progression régulière de la distance entre 6 et 12 ans avec un plateau à l'adolescence, alors que les enfants GMFCS III atteignent plus précocement un plateau, avec des distances nettement inférieures et une variabilité plus importante. Ces données sont particulièrement utiles pour distinguer une évolution attendue de l'enfant d'un déclin pathologique ou d'un effet défavorable d'une intervention [186].

Sur le plan méthodologique, le 6MWT doit être réalisé selon un protocole standardisé, dérivé des recommandations de l'American Thoracic Society et adapté à la population pédiatrique : parcours rectiligne de 30 mètres, surface plane, marquage visuel régulier, consignes standard « marcher aussi loin que possible pendant six minutes, à son propre rythme, avec possibilité de ralentir ou de s'arrêter en cas de fatigue », autorisation de l'aide technique habituelle (orthèses, cannes, déambulateur) avec mention dans le dossier, et encouragements standardisés à intervalles réguliers. Un essai d'entraînement peut être proposé, en particulier chez les enfants GMFCS II-III ou en cas de difficultés de compréhension [183].

Dans la littérature pédiatrique, la longueur du couloir utilisée pour le test de marche de 6 minutes n'est pas uniforme : si les recommandations de l'American Thoracic Society chez l'adulte suggèrent un parcours rectiligne de 30 m, plusieurs études chez l'enfant ont retenu un couloir plus court, généralement de 20 m, sans altérer la validité clinique du test. C'est notamment le cas des travaux de Gulmans et al. chez des enfants atteints de mucoviscidose, ainsi que des études de Paap et Lelieveld chez

des enfants présentant une arthrite juvénile idiopathique, où le 6MWT est réalisé sur un parcours rectiligne de 20 m, avec une bonne fiabilité test–retest et une pertinence démontrée pour la mesure de la capacité de marche [188-190].

Plus récemment, plusieurs revues méthodologiques et travaux pédiatriques soulignent que, chez l'enfant, la priorité est de disposer d'un parcours standardisé, bien mesuré et reproductible, plutôt que de respecter strictement une distance unique, à condition de toujours préciser la longueur du couloir utilisée et de comparer les résultats à des valeurs de référence obtenues avec le même protocole. Dans ce contexte, le choix d'un couloir de 20m paraît être un compromis pragmatique: il est suffisamment long pour limiter les effets de demi-tours, trop fréquents sur la vitesse et la cadence, tout en restant réaliste en pratique clinique (couloirs d'hôpital ou de service). Ce choix est en cohérence avec les protocoles déjà validés dans d'autres pathologies pédiatriques chroniques et avec les propositions de versions adaptées du 6MWT pour les enfants avec PC, à condition de le décrire clairement dans la méthodologie et d'interpréter les distances parcourues à la lumière de ces paramètres [182, 185, 191, 192].

Sur le plan des valeurs de référence, l'étude de cohorte de Geiger en 2007 constitue l'un des travaux fondateurs pour le 6MWT en pédiatrie. Les auteurs ont évalué 528 enfants et adolescents sains de 3 à 18 ans, sur une piste de 20 m, selon un protocole proche des recommandations de l'American Thoracic Society (ATS), et ont montré une augmentation progressive de la distance parcourue avec l'âge : environ 536 m entre 3–5 ans, 578 m entre 6–8 ans, 673 m entre 9–11 ans et près de 698 m entre 12–14 ans. À partir de ces données, ils ont établi des équations de régression distinctes pour les garçons et les filles, dans lesquelles l'âge et la taille expliquent environ 50 % de la variabilité de la distance marchée [193].

- **Garçon** : $6MWD (m) = 196,72 + (39,81 \times \text{âge [ans]}) - (1,36 \times \text{âge}^2) + (132,28 \times \text{taille [m]})$
- **Fille** : $6MWD (m) = 188,61 + (51,50 \times \text{âge [ans]}) - (1,86 \times \text{âge}^2) + (86,10 \times \text{taille [m]})$

Elles permettent de convertir la distance brute d'un enfant en pourcentage de la valeur prédite en tenant compte du sexe, de l'âge et de la taille, et sont largement

utilisées comme norme de comparaison dans les études portant sur les enfants atteints de PC.

Guinet et Desailly ont ensuite proposé un outil pratique (fichier Excel) qui combine ces valeurs de référence issues de Geiger pour les enfants au développement typique avec les données publiées chez les enfants PC, classés selon le niveau GMFCS. Les résultats montrent que, quel que soit le sexe, les enfants atteints de PC parcourent en moyenne environ les deux tiers de la distance attendue pour des enfants sains de même âge et taille, avec un gradient net selon le niveau fonctionnel : les performances des niveaux GMFCS I et II sont relativement proches et souvent difficiles à discriminer statistiquement, alors que la chute de performance est marquée au niveau GMFCS III (et plus encore pour les niveaux IV–V lorsque la marche est possible). Ce cadre normatif permet, (1) de situer chaque enfant PC par rapport à la norme d'enfants typiquement développés (via les équations de Geiger), et (2) de le comparer à une « norme PC » propre à son niveau GMFCS, ce qui est particulièrement pertinent pour interpréter la sévérité de la limitation d'endurance et l'impact fonctionnel d'une intervention (physiothérapie intensive, thérapie robotisée, réentraînement à l'effort, etc.) [182].

Enfin, le 6MWT s'est imposé comme critère de jugement privilégié dans de nombreux essais évaluant l'impact de programmes de rééducation intensive, de renforcement musculaire, de thérapies orientées tâche, ainsi que des technologies émergentes telles que la robotique de marche (Lokomat®, exosquelettes). La revue narrative de Roméo souligne que le 6MWT est l'un des tests les plus sensibles pour objectiver les gains d'endurance après ces interventions, tandis que la méta-analyse de Wang et al. montre des améliorations significatives de la distance parcourue après entraînement assisté par robot chez des enfants PC GMFCS II–III [192].

Au-delà de la seule distance totale, l'analyse de la cinétique de la vitesse au cours des six minutes apporte des informations précieuses sur la fatigabilité. Guinet et Desailly ont montré que la vitesse de marche est maximale au début du test (environ 83 m/min à la 1^{re} minute), puis diminue de manière significative dès la 3^e minute pour se stabiliser autour de 64 m/min à la 6^e minute, illustrant l'incapacité de nombreux enfants PC à maintenir une allure constante sur la durée. Cette diminution

progressive de la vitesse traduit une fatigue musculaire et cardiorespiratoire précoce, ainsi qu'une inefficience de la marche [182].

5.3.2.2 Autres mesures de l'endurance à la marche

Si le 6MWT constitue la mesure de référence, d'autres outils peuvent être utilisés en complément pour affiner l'évaluation de l'endurance, notamment chez les enfants plus jeunes ou plus sévèrement atteints.

Le **test de marche de deux minutes (2MWT)** représente une alternative intéressante lorsque la tolérance à l'effort est limitée ou lorsque le temps clinique est contraint. Il consiste à mesurer la distance parcourue en deux minutes sur un parcours rectiligne. Plusieurs études ont montré une bonne corrélation entre le 2MWT et le 6MWT, ainsi qu'une bonne faisabilité chez les enfants GMFCS II–III, avec un niveau de fatigue moins important à la fin du test. Toutefois, le 2MWT est moins sensible pour détecter les variations fines de l'endurance et de la fatigabilité au long cours.

Les **tests navette progressifs** (shuttle walk ou shuttle run test) évaluent l'endurance dans un contexte d'effort incrémental : l'enfant marche ou court entre deux lignes espacées de 10 m en suivant un rythme imposé par un signal sonore de plus en plus rapide. Ces tests sont plus exigeants, se rapprochent d'un test aérobic maximal et sont surtout adaptés aux enfants GMFCS I–II présentant un niveau de marche élevé. Ils permettent d'approcher la capacité aérobic maximale mais sont plus difficiles à mettre en œuvre en routine, en particulier en cas de troubles cognitifs, d'attention ou d'anxiété.

Enfin, les tests sur tapis roulant (submaximal treadmill tests) permettent de mesurer de manière plus instrumentée les réponses cardiorespiratoires (VO_2 , fréquence cardiaque) et la cinétique de la fatigue, mais ils nécessitent du matériel spécialisé et sont moins écologiques. Ils sont surtout utilisés dans des protocoles de recherche ou dans les programmes d'entraînement cardiorespiratoire où il est nécessaire de quantifier précisément la charge d'exercice.

5.3.2.3 Mesures subjectives et approche écologique de l'endurance

En complément des tests de marche chronométrés, des questionnaires comme EASE permettent d'évaluer l'endurance dans les activités de la vie quotidienne (monter des escaliers, marcher en extérieur, jouer dans la cour, etc.). Fiss et al. ont montré une

forte corrélation entre les scores de l'EASE et la distance du 6MWT, confirmant que ces deux outils mesurent des dimensions proches et complémentaires de l'endurance fonctionnelle. Par ailleurs, l'utilisation de capteurs d'activité portés sur plusieurs jours (podomètres, accéléromètres) permet d'apprécier de manière écologique la quantité réelle de marche quotidienne (nombre de pas, temps passé à marcher, longueur des séquences de marche), ce qui est particulièrement intéressant pour mettre en perspective les performances obtenues lors du 6MWT avec la participation réelle de l'enfant dans son environnement [187].

Ainsi, l'évaluation de l'endurance à la marche chez l'enfant atteint de PC doit idéalement combiner une mesure standardisée de performance (en premier lieu le 6MWT), des outils complémentaires adaptés au profil de l'enfant (2MWT, tests navette, tests sur tapis roulant) et, lorsque cela est possible, une approche écologique via des questionnaires et des mesures d'activité. Cette approche intégrée permet de mieux comprendre les limitations de l'enfant, de guider les objectifs de rééducation et d'apprécier l'impact fonctionnel réel des interventions.

5.3.3 Efficacité de la marche

Chez le sujet sain, la marche est décrite comme un système pendulaire inversé, dans lequel le centre de masse du corps, représenté par le complexe tête-bras-tronc, se déplace de manière fluide au-dessus du membre porteur. Ce déplacement repose sur une alternance harmonieuse entre énergie cinétique (liée à la vitesse antérieure) et énergie potentielle (liée à l'élévation verticale du centre de masse).

Au cours du cycle de marche, ces deux formes d'énergie se transforment l'une en l'autre de façon quasi synchronisée, permettant de maintenir la somme de l'énergie mécanique totale relativement constante. Ce mécanisme limite le travail musculaire actif nécessaire à chaque pas et constitue la base de l'efficacité énergétique élevée de la marche normale.

Chez les enfants atteints de PC, ces mécanismes sont partiellement ou totalement altérés. Les déviations cinématiques secondaires aux troubles neuromusculaires, perturbent la trajectoire du centre de masse et rompent la synchronisation entre énergie cinétique et potentielle. Il en résulte une augmentation des déplacements verticaux et latéraux du centre de masse, associée à une perte du transfert

énergétique pendulaire et donc une nécessité accrue de production de force musculaire pour assurer la progression. Ces altérations mécaniques se traduisent directement par une augmentation du coût énergétique de la marche, mesuré en consommation d'oxygène par unité de distance (ml O₂/kg/m).

L'inefficacité de la marche chez l'enfant PC résulte d'un double mécanisme, d'une part une augmentation de la consommation d'oxygène par minute, liée à une activation musculaire excessive et désorganisée ; et d'autre part une réduction de la vitesse de marche, qui augmente mécaniquement le coût énergétique rapporté à la distance parcourue. Ainsi, même lorsque la consommation d'oxygène instantanée reste modérée, une marche lente devient fonctionnellement coûteuse, car l'enfant dépense davantage d'énergie pour parcourir une distance donnée.

Les enfants PC tendent à auto-adapter leur vitesse de marche afin de maintenir leur effort dans une zone tolérable sur le plan cardiorespiratoire. Cette stratégie permet de limiter l'essoufflement à court terme, mais se fait au prix d'une diminution du périmètre de marche, d'une fatigue précoce et d'une restriction de la participation aux activités quotidiennes. À long terme, cette marche inefficace favorise l'entrée dans une spirale de déconditionnement, avec réduction progressive des capacités musculaires et cardiorespiratoires, aggravant encore l'inefficacité locomotrice [2, 4].

5.3.3.1 Mesure directe du coût énergétique : la calorimétrie indirecte

La méthode "gold standard" pour évaluer l'efficacité locomotrice est la calorimétrie indirecte, qui mesure les échanges gazeux en oxygène (VO₂) et en dioxyde de carbone (VCO₂) au moyen d'un analyseur métabolique portable (type K4b², Cortex®, Cosmed®, etc.).

Cette méthode permet de mesurer avec précision la consommation d'oxygène (ml O₂/kg/min) ainsi que le coût énergétique de la marche (J/kg/m ou ml O₂/kg/m). Cependant, son application en pédiatrie et plus encore chez les enfants atteints de paralysie cérébrale présente plusieurs contraintes pratiques. En effet, le matériel utilisé a un poids d'environ 1,5 kg, ce qui constitue une charge supplémentaire susceptible d'altérer les résultats. Par ailleurs, de nombreuses études rapportent que les enfants PC tolèrent mal les masques respiratoires, ce qui complique la réalisation du test. Aussi l'hyper salivation fréquente dans cette population peut également

perturber la qualité et la fiabilité des mesures. Enfin, ces systèmes nécessitent une procédure de calibration exigeante et demandent une coopération du patient, ce qui n'est pas toujours réalisable chez les enfants présentant des difficultés cognitives.

Ces contraintes expliquent pourquoi, malgré sa valeur scientifique élevée, la calorimétrie indirecte n'est pas l'outil le plus utilisé en pratique clinique courante, au profit d'indicateurs dérivés plus simples.

5.3.3.2 Indice de dépense énergétique

Face aux limites de la calorimétrie, plusieurs indices indirects de dépense énergétique ont été développés, fondés sur la relation quasi linéaire entre consommation d'oxygène (VO_2) et fréquence cardiaque (FC) lors d'un exercice sous-maximal relation bien établie chez l'enfant [4, 194].

MacGregor en 1981 a été le premier à proposer une méthode simple, non invasive et applicable en clinique pour estimer le coût énergétique de la marche : le Physiological Cost Index, qui repose sur l'observation que la FC augmente de manière proportionnelle à la VO_2 dans la zone d'effort sous-maximale, zone où se situe la marche chez la plupart des enfants PC. Cette approche a enfin permis de quantifier le coût énergétique sans analyse des échanges gazeux, difficilement réalisable chez l'enfant [194].

Les travaux de Waters ont établi les valeurs de référence du coût énergétique de la marche normalisée ($ml\ O_2/kg/m$) chez l'adulte et chez l'enfant sain. L'étude a démontré que : la marche normale est relativement efficace chez l'enfant typique, à l'inverse, toute anomalie biomécanique augmente significativement le coût énergétique. Waters a également confirmé que la vitesse confortable correspond généralement au coût énergétique minimal, un principe qui sera retrouvé plus tard dans les travaux de Rose et de Rana [4].

Les travaux de Rose et al. montrent une relation linéaire robuste entre FC et VO_2 , validant l'usage de l'indice de dépense énergétique (IDE) selon la formule $IDE\ (bpm/m) = (FC\ marche - FC\ repos) / Vitesse\ de\ marche$, comme proxy clinique fiable. Ils ont mis en évidence la profonde inefficacité locomotrice des enfants PC, soulignant un coût énergétique majoré malgré une vitesse de marche souvent réduite. Cela met en évidence un « double handicap » : non seulement les enfants PC

marchent plus lentement, mais ils dépensent plus d'énergie par unité de distance, ce qui accélère la fatigue [2].

Tableau 5: Coût énergétique de la marche

<i>Groupe</i>	<i>EEI(O₂) moyen (ml/kg/m)</i>	<i>IDE moyen (bpm/m)</i>
<i>Enfants typiques</i>	<i>0,17 ± 0,02</i>	<i>0,41 ± 0,12</i>
<i>Enfants PC (global)</i>	<i>0,48 ± 0,22</i>	<i>1,38 ± 0,70</i>

Le coût énergétique de la marche est environ 3 fois plus élevé chez les enfants PC que chez les enfants typiques, quel que soit l'indice utilisé [2].

Cet indice a été largement utilisé dans la littérature en PC en raison de sa bonne validité, de sa sensibilité aux modifications après interventions et de sa simplicité de mesure [148, 195].

L'intérêt clinique de l'évaluation de l'efficacité de la marche permet d'identifier précocement les enfants les plus à risque de déclin fonctionnel, de monitorer l'évolution dans le temps, d'objectiver la fatigabilité qui constitue une plainte majeure dans la population PC et d'établir un pronostic fonctionnel, notamment avant l'adolescence où la baisse de capacité locomotrice s'accroît.

6 ENTRAÎNEMENT A LA MARCHÉ ET PARALYSIE **CEREBRALE**

6.1 Principes et justifications

L'entraînement à la marche constitue un pivot de la rééducation motrice de l'enfant atteint de PC, car il cible directement la capacité à se déplacer, à moduler la vitesse, à maintenir un périmètre de marche, et à réduire la fatigabilité. Au-delà de la performance mesurée en laboratoire, l'objectif contemporain est d'améliorer une marche plus "utilisable", c'est-à-dire plus stable et plus transférable aux situations réelles, afin d'augmenter la participation. L'augmentation marquée des publications au cours des dernières décennies reflète cette centralité, avec une diversification des approches et protocoles.

Les principes physiologiques et biomécaniques de l'entraînement à la marche reposent sur les fondamentaux de l'apprentissage moteur et de la plasticité, en s'appuyant sur des leviers clés que sont la spécificité, la répétition et l'intensité progressive, orientées vers la tâche et délivrées avec un dosage suffisant pour induire une adaptation.

Chez l'enfant atteint de PC, cet apprentissage s'inscrit dans un système locomoteur contraint par les troubles neuromoteurs, à l'origine du paradoxe clinique fréquemment observé d'une marche à la fois plus lente et plus coûteuse sur le plan énergétique. L'entraînement vise alors à cibler de manière conjointe les trois composantes complémentaires de la marche, à savoir la vitesse, l'endurance et l'efficacité, en imposant un travail structuré, progressif et souvent assisté.

Les approches d'entraînement à la marche assistée mécaniquement, telles que le tapis roulant avec ou sans soutien partiel du poids corporel ou les dispositifs robotisés, apparaissent particulièrement pertinentes, car elles permettent d'augmenter le nombre de cycles de marche et la dose globale d'entraînement, souvent difficile à atteindre lors de la marche au sol chez certains profils fonctionnels. La Cochrane de Chiu publiée en 2020 conclut à un intérêt clinique potentiel de ces modalités sur les performances de marche, tout en soulignant les limites liées à l'hétérogénéité des protocoles et à la variabilité des réponses individuelles.

Ainsi, l'entraînement à la marche ne constitue pas uniquement une modalité « technique » parmi d'autres, mais représente un cadre thérapeutique central, permettant de relier les déficiences neuromusculaires, aux performances locomotrices mesurables et, in fine, à la participation et à la qualité de vie [7, 176, 196, 197].

6.2 Modalités d'entraînement à la marche

6.2.1 Tapis roulant sans soutien du poids du corps (Treadmill training)

L'entraînement sur tapis roulant sans soutien partiel du poids corporel (TT) représente une modalité à la fois simple et largement accessible en réadaptation. Chez l'enfant atteint de PC, cette approche permet d'augmenter la dose de pratique et la répétition des cycles de marche, deux déterminants majeurs de l'apprentissage moteur. Sur le plan pratique, il permet de standardiser des paramètres difficiles à maîtriser en marche au sol, notamment la vitesse, la durée, la progression, la pente, et, le cas échéant, d'introduire des contraintes orientées tâche (augmentation de cadence, allongement du pas, variations de rythme). Dans la littérature, les essais contrôlés et les synthèses méthodiques rapportent des effets positifs sur la vitesse de marche et sur les dimensions locomotrices du GMFM (principalement la dimension E), avec une amplitude variable selon l'intensité, la progression de vitesse imposée et le niveau GMFCS [6, 198].

L'essai charnière de Grecco et al. constitue une référence structurante en comparant directement le TT versus marche au sol. Trente-six enfants (3–12 ans, GMFCS I–III) suivent 2 séances/semaine pendant 7 semaines. L'originalité est l'individualisation de l'intensité à partir d'un test d'effort préalable, avec travail à 60–80 % de la vitesse maximale tolérée. Les améliorations existent dans les deux groupes mais sont nettement plus marquées dans le groupe TT. Sur le 6MWT, la distance passe de 227 ± 49 m à 377 ± 93 m dans le groupe TT, versus 222 ± 43 m à 268 ± 45 m dans le groupe marche au sol ($p = 0,001$). D'autres gains concordants sont rapportés : amélioration du TUG ($-6,4$ s vs $-2,0$ s), du GMFM-88 ($+11,3$ % vs $+3,6$ %), de la Berg Balance Scale ($+11,8$ vs $+3,3$), ainsi que du PEDI. Les bénéfices se maintiennent partiellement à un mois, suggérant un effet qui dépasse le très court terme. Au total, cet essai renforce l'idée que le TT, en permettant un contrôle fin de la vitesse et une dose répétée, peut

produire des gains supérieurs sur l'endurance, l'équilibre et la fonction locomotrice globale chez les GMFCS I–III [199].

Tableau 6: Évaluation de l'effet d'un TT VS marche à l'extérieur sur les capacités motrices [199].

	Experimental group			Overground walking group		
	Baseline	Posttreatment	Follow-up	Baseline	Posttreatment	Follow up
6'WT (m)	227.4 (49.4)	377.2 (93.0)*##	360.2 (86.1)*##	222.6 (42.6)	268.0 (45.0)*	257.6 (45.8)*##
Treadmill test						
Time (min)	6.4 (1.3)	9.8 (1.9)*##	8.9 (2.3)*##	5.0 (1.5)	5.3 (1.8)	5.1 (1.5)
Speed (Km/h)	3.2 (0.6)	4.9 (0.9)*	4.2 (1.3)*##	2.5 (0.7)	2.6 (0.9)	2.5 (0.7)
Peak HR (bpm)	155.4 (14.0)	117.0 (7.2)*	118.4 (10.5)*	153. (14.5)	149.2 (13.2)	148.9 (15.2)
GMFM-88 (%)	81.6 (8.7)	93.0 (5.7)*##	91.7 (5.0)*	77.3 (7.0)	80.8 (7.2)*	80.7 (7.5)*
Subscale D (%)	60.5 (18.7)	84.4 (16.8)*##	82.4 (15.8)*	54.2 (18.2)	61.9 (14.8)	61.4 (14.7)
Subscale E (%)	72.1 (16.8)	92.3 (10.0)*##	91.8 (9.5)*	61.6 (11.5)	69.4 (12.5)*	68.6 (12.0)*

Pendant la période de l'adolescence, la locomotion peut stagner voire décliner, l'essai de Chrysagis et al. rapporte l'effet d'un programme structuré (3 séances/semaine, 30 minutes, 12 semaines) avec progression de vitesse selon la tolérance chez des adolescents PC GMFCS I–III. Le groupe TT améliore davantage la fonction motrice globale (GMFM $\approx +6,1$ % vs $+1,5$ % contrôle, $p < 0,05$) et la vitesse de marche confortable ($\approx +0,12$ m/s). Ces résultats soutiennent l'intérêt du TT comme stratégie durant une fenêtre critique, non seulement pour améliorer la performance mais aussi pour lutter contre le déconditionnement probable de l'adolescent [200].

Dans une approche complémentaire d'intensification écologique avec un projet domiciliaire et un rôle actif des parents, Mattern-Baxter évalue un programme chez 12 enfants (âge moyen $21,3 \pm 3,2$ mois, GMFCS I–II). En plus de la physiothérapie hebdomadaire, le groupe intervention réalise un entraînement intensif à domicile sur tapis roulant portable, 6 jours/semaine, 2 sessions par jour, 10 à 20 minutes, pendant 6 semaines, avec supervision hebdomadaire d'un kinésithérapeute mais exécution quotidienne par les parents. Les gains sont significativement supérieurs dans le groupe entraînement : amélioration du PDMS-2 $+13,5 \pm 6,8$ vs $+4,2 \pm 3,9$ ($p < 0,05$), amélioration du PEDI mobilité $+11,6 \pm 5,4$ vs $+3,1 \pm 2,7$ ($p < 0,05$), et progression sur la FMS reflétant une diminution du besoin d'assistance sur différentes distances. Le maintien au suivi (1 et 4 mois) suggère un effet durable. Cette étude apporte un

argument fort pour l'intégration de programmes intensifs "réalistes" en contexte écologique, en augmentant la dose sans imposer les contraintes logistiques du centre [201].

L'essai contrôlé randomisé d'Emara et collaborateurs a comparé l'effet d'un programme d'entraînement avec soutien partiel du poids du corps du poids (PBWSTT) à celui d'un TT chez 30 enfants atteints de PC GMFCS II-III, âgés en moyenne de $7,9 \pm 1,4$ ans. Les participants ont été répartis aléatoirement en deux groupes recevant 12 semaines d'intervention, à raison de 3 séances par semaine, chaque séance durant 45 minutes, en complément d'un programme standardisé de physiothérapie. Après six semaines d'intervention (18 séances), les deux groupes présentent des gains significatifs sur la fonction motrice globale, sans différence intergroupe statistiquement significative. Après douze semaines d'entraînement (36 séances), une différenciation progressive des effets apparaît selon la modalité utilisée. Le groupe TT montre une amélioration significative de la vitesse de marche $+0,11$ m/s, de même, l'endurance évaluée par la distance parcourue au test 6MWT, a progressé de $+41 \pm 29$ m, accompagné d'un gain de $+6,2$ points sur la dimension E du GMFM traduisant une bonne performance locomotrice sous charge réelle. Ainsi, Emara et al. montrent que le TT est particulièrement efficace pour améliorer la vitesse de marche et la performance sous charge, tandis que le PBWSTT favorise davantage les gains globaux de motricité et de contrôle postural, renforçant l'idée que le choix thérapeutique doit être guidé par les objectifs fonctionnels prioritaires (vitesse, endurance vs qualité posturale), et non par une opposition stricte entre dispositifs [202].

6.2.2 Tapis roulant avec soutien partiel du poids du corps

L'entraînement à la marche sur tapis roulant avec support partiel du poids du corps (PBWSTT), également désigné sous le terme de *partiel body-weight supported treadmill training*, constitue l'une des modalités les plus étudiées de rééducation locomotrice chez l'enfant atteint de PC. Cette approche vise à sécuriser la pratique de la marche, à réduire les contraintes mécaniques liées au poids corporel, et à augmenter la répétition des cycles de marche, tout en permettant un contrôle précis de la vitesse, de la durée et de l'intensité de l'entraînement.

Les premiers essais contrôlés publiés en 2007 ont posé les bases de l'efficacité clinique du PBWSTT en objectivant une amélioration significative de la vitesse et de l'endurance à marche, aussi des paramètres spatio-temporelles, ainsi que des capacités fonctionnelles globales par rapport aux soins usuels [203-205].

Les preuves sont arrivées dans la foulée à travers les revues systématiques des années 2009–2010 témoignant d'une meilleure accessibilité de l'entraînement pour les enfants plus sévèrement atteints (GMFCS III–IV), rendue possible par la décharge du poids corporel. Les auteurs concluent que le PBWSTT est particulièrement pertinent pour initier ou intensifier la marche chez les enfants dont les capacités locomotrices sont insuffisantes pour un entraînement intensif au sol. Cependant, ils soulignent également une hétérogénéité importante des protocoles (durée, pourcentage de décharge, vitesse), limitant la comparaison directe des études [206, 207].

Au-delà de la performance, la participation et la qualité de vie ont été évalués par l'essai contrôlé randomisé de Gates, qui a inclus 34 enfants PC ambulatoires, randomisés entre un programme PBWSTT à vitesse soutenue ($\approx 60\text{--}80\%$ de la fréquence cardiaque maximale avec progression individualisée) et un programme de renforcement musculaire progressif. Les deux groupes améliorent le GMFM-66 sans différence intergroupe nette sur ce critère. En revanche, le groupe PBWSTT présente des bénéfices supérieurs sur des dimensions de participation/qualité de vie (PedsQL, CHQ), avec une amélioration du score de participation physique ($\approx +8,6$ points vs $+2,1$, $p < 0,05$) et un gain de vitesse au 10MWT ($\approx +0,12$ m/s, $p < 0,05$). Ce travail soutient l'idée que le PBWSTT intense peut avoir un impact plus « écologique », en rapprochant la performance mesurée de la participation réelle [208].

Plus récemment Alotaibi et al. dans une solide méta-analyse incluant 17 essais contrôlés ≈ 430 enfants et adolescents dont les programmes d'entraînement se déroulent en centre de rééducation, à domicile ou en milieu scolaire. Les résultats de cette revue ont démontré l'efficacité d'une thérapie PBWSTT au sein des trois systèmes écologiques autant sur la vitesse, l'endurance mais aussi sur TUG, PBS, PEDI et le GMFM [209].

6.2.3 Marche assistée par robot (Robot-assisted gait therapy)

Les dispositifs de thérapie de la marche assistée par robot (RAGT) utilisent une orthèse fixée au corps par un harnais ajustable, permettant une marche assistée sur tapis roulant. Ces dispositifs, comme le Lokomat® un plus utilisés chez l'enfant, sont équipés de capteurs au niveau des articulations des hanches et des genoux qui mesurent les forces d'interaction homme-machine, adaptant ainsi le mouvement et aidant l'enfant à maintenir sa trajectoire de marche. Cette technologie robotique permet un entraînement plus long à des vitesses variables, tout en conservant un schéma de marche constant. Les dispositifs robotiques facilitent le mouvement des jambes pendant le cycle de marche et optimisent la réception des signaux sensoriels par le cerveau, favorisant ainsi la neuroplasticité liée à la marche et à l'équilibre. La RAGT repose sur les principes de l'apprentissage sensorimoteur grâce à une simulation intensive et répétitive des différentes phases de la marche, associée à une stimulation visuelle et auditive. Elle permet également d'ajuster et de modifier l'exercice, adaptant ainsi la thérapie aux exigences et aux besoins du patient.

Dans la méta-analyse de Cortés-Pérez et al., les effets du RAGT apparaissent globalement faibles à modérés sur les principaux indicateurs de capacité de marche, avec une amplitude qui dépend du comparateur (soins conventionnels vs tapis roulant). Ainsi, comparé à la thérapie conventionnelle, le RAGT montre un bénéfice en faveur de la distance au 6MWT (DMS \approx 0,31, IC95% 0,07 à 0,55) et de la vitesse de marche (DMS \approx 0,29, IC95% 0,06 à 0,52), tandis que l'effet sur des composantes de fonction motrice globale est plus variable selon les échelles et sous-domaines. En revanche, comparé au TT, le RAGT ne montre pas de supériorité nette sur la vitesse (DMS \approx 0,02, IC95% -0,22 à 0,26) ni sur la distance au 6MWT (DMS \approx 0,03, IC95% -0,21 à 0,27), suggérant que l'essentiel du gain provient probablement de la *dose de marche* et de l'entraînement orienté tâche plutôt que du robot en lui-même, quand le TT est déjà bien dosé [210].

Un autre essai rapporté dans une synthèse « research news » conclut à l'absence de différence significative entre PBWSTT et le RAGT, tout en soulignant que le niveau de fonction motrice initial (profil GMFCS) pourrait moduler la réponse à l'entraînement [211].

En pratique, l'ensemble de ces résultats plaide pour une lecture « pragmatique »: le RAGT n'écrase pas systématiquement le TT, mais il peut apporter un gain additionnel quand l'objectif prioritaire est de sécuriser l'intensité, d'augmenter la dose de pas chez des enfants plus fragiles, ou de cibler des composantes d'équilibre/stabilité difficiles à obtenir par TT seul, avec des bénéfices attendus surtout sur des outcomes de capacité de marche (6MWT, vitesse) et des indicateurs de stabilité posturale plutôt que sur une normalisation globale de la fonction motrice.

6.3 Pratique fondée sur les preuves et entraînement à la marche chez le paralysé cérébrale

Les données issues des essais contrôlés randomisés, des revues systématiques et des méta-analyses soutiennent l'efficacité de l'entraînement à la marche pour améliorer la capacité de marche chez les enfants PC ambulatoires (GMFCS I–III), en particulier sur la vitesse et l'endurance. Les recommandations internationales récentes, alignées sur une pratique fondée sur les preuves, positionnent ainsi l'entraînement à la marche comme un levier thérapeutique pertinent, permettant d'augmenter la dose de marche pratiquée et de quitter une approche centrée sur la correction des déficiences isolées pour s'inscrire dans des stratégies orientées vers l'activité et la participation, en cohérence avec le modèle de la Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé.

Moreau dans une analyse portant sur 41 études publiées entre 1980 et 2015 (26 RCT > 1 000 enfants PC GMFCS I–III). Classe l'entraînement à la marche sur tapis roulant avec ou sans support partiel du poids corporel parmi les interventions les plus efficaces, avec une taille d'effet moyenne d'environ 0,53 (IC 95 % \approx 0,30–0,76 ; $p < 0,01$), soit des gains estimés de +0,08 à +0,15 m/s. Les effets sont plus marqués lorsque l'entraînement est intensif, réalisé au moins 3 fois par semaine, sur une durée \geq 6–8 semaines, et à une vitesse supérieure à la vitesse confortable [6].

La revue systématique de Booth montre que l'entraînement de la marche confère un effet positif modéré et statistiquement significatif sur la vitesse de marche comparé à la physiothérapie standard, avec une taille d'effet standardisée d'environ 0,79 ($p = 0,04$), suggérant que ces approches d'entraînement intensif sont non seulement efficaces mais aussi sûres et réalisables en pratique clinique, avec des potentialités

d'amplification des effets lorsqu'elles sont combinées à la réalité virtuelle ou le biofeedback [212].

Tableau 7: Diagramme de forêt de la revue de Booth [212]

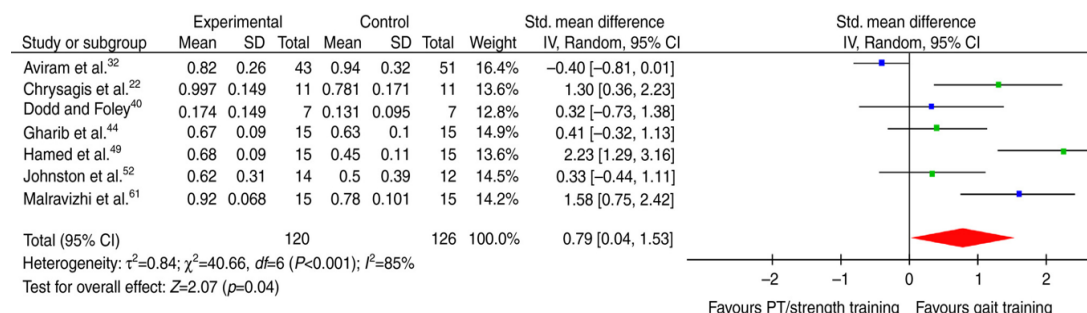


Diagramme illustrant l'effet estimé de l'entraînement à la marche sur la vitesse de marche par rapport à la kinésithérapie standard et au renforcement musculaire. La taille des points représente la pondération de l'effet global ; la couleur indique le niveau de preuve associé à l'étude (vert : II ; bleu : III)

Dans leur revue apparue en 2019 fondée sur les données probantes, Das et Ganesh identifient l'entraînement à la marche comme l'une des interventions de physiothérapie les mieux étayées chez les enfants atteints de PC ambulateur. Les auteurs soulignent que, chez les enfants GMFCS I–II, le TT est suffisant pour induire des gains fonctionnels significatifs, tandis que le BWSTT constitue surtout un facilitateur pour les profils GMFCS III. Cette synthèse confirme que l'entraînement à la marche agit prioritairement sur le domaine "activité" de la CIF et constitue un pilier des programmes de réadaptation locomotrice fondés sur les preuves [213].

La consolidation par les synthèses de 2020 confirme l'effet global mais aussi l'hétérogénéité des protocoles ; La méta-analyse de Han & Yun inclut 10 RCT (total 278 enfants GMFCS I–III), comparant tapis roulant avec ou sans décharge aux soins usuels. Les protocoles varient (2–5 séances/semaine, 4–12 semaines, 20–45 min). Les résultats confirment un effet significatif sur la vitesse (SMD 0,53, IC95 % 0,23–0,83, $p < 0,01$) et sur le GMFM (SMD 0,41, IC95 % 0,12–0,69, $p < 0,01$). Les effets sont plus nets chez GMFCS I–II et plus variables chez GMFCS III, et les programmes ≥ 8 semaines avec fréquence ≥ 3 /semaine semblent associés à de meilleurs résultats, suggérant une logique dose–réponse.

A côté, la Cochrane de Chiu (≈ 11 RCT, ≈ 283 enfants) inclut plusieurs formes d'assistance mécanique, dont le TT. Sur ce sous-ensemble, elle rapporte des gains modérés sur la vitesse (souvent $\approx +0,08$ à $+0,15$ m/s selon les essais), et des effets faibles à modérés sur le GMFM (souvent $\approx +2$ à $+4$ points), avec une certitude de preuve allant de faible à modérée selon les comparaisons, principalement à cause de la taille des échantillons et de l'hétérogénéité des protocoles. La revue souligne aussi que les données de participation et de qualité de vie sont trop rares pour conclure solidement, même si certaines études rapportent des signaux favorables sur le PEDI [197, 214].

En 2023 est apparue la solide méta-analyse en réseau menée par Qian et al, incluant 34 RCT et plus de 1 200 patients atteints de PC. Elle classe le TT parmi les stratégies de premier plan avec un score SUCRA (*Surface Under the Cumulative Ranking Curve*) compris entre 72 et 76 %, traduisant une probabilité élevée d'être supérieure aux soins usuels et à plusieurs autres approches rééducatives. Comparé aux prises en charge conventionnelles, le TT est associé à une taille d'effet modérée mais cliniquement pertinente sur la capacité de marche (DMS = 0,61 ; IC 95 % : 0,36 à 0,86). Les gains fonctionnels rapportés concernent principalement la vitesse de marche, avec des augmentations moyennes $+0,08$ et $+0,16$ m/s, ainsi que l'endurance à la marche, avec une amélioration de la distance parcourue au 6MWT allant de $+35$ à $+85$ mètres. L'analyse des protocoles inclus montre que ces bénéfices sont conditionnés par la dose d'entraînement : les effets sont plus marqués lorsque les programmes s'étendent sur une durée minimale de 6 à 8 semaines, avec une fréquence d'au moins trois séances hebdomadaires, et lorsque la vitesse de marche est progressivement augmentée au cours de l'intervention. Ces résultats confirment que le TT constitue une intervention efficace, orientée tâche et dépendante de l'intensité, capable d'améliorer de manière significative la performance locomotrice chez les enfants et adolescents atteints de paralysie cérébrale [7].

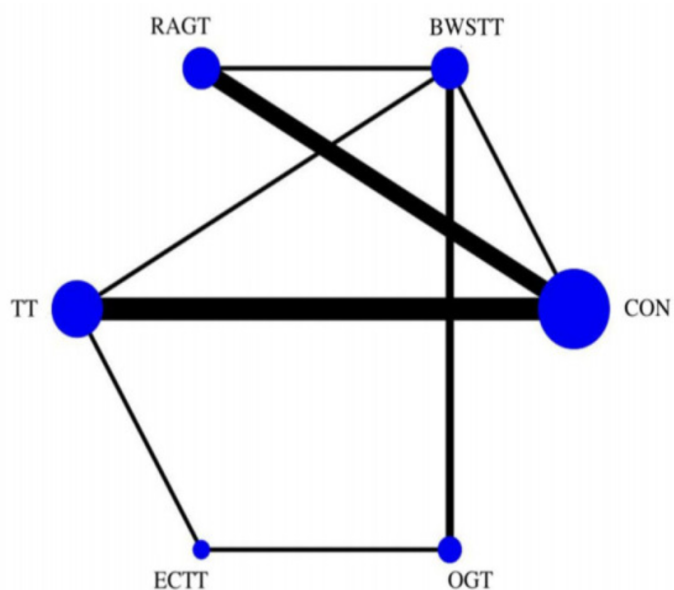


Figure 18: Réseau de données probantes sur l'analyse de la vitesse de la marche [7].

BWSTT : entraînement sur tapis roulant avec support partiel du poids corporel ; C : physiothérapie conventionnelle ; ECTT : entraînement sur tapis roulant avec repères externes ; OGT : entraînement à la marche au sol ; RAGT : entraînement à la marche assistée par robot ; TT : entraînement sur tapis roulant.

L'entraînement intensif à la marche avec ou sans support de poids est positionné dans les recommandations de Novak, comme intervention "verte" chez les enfants PC ambulateurs, indiquant un rapport bénéfice/risque favorable et une convergence des preuves sur l'amélioration de la capacité de marche (vitesse, distance) et des dimensions locomotrices du GMFM (D-E), avec des effets généralement plus constants chez GMFCS I-II.

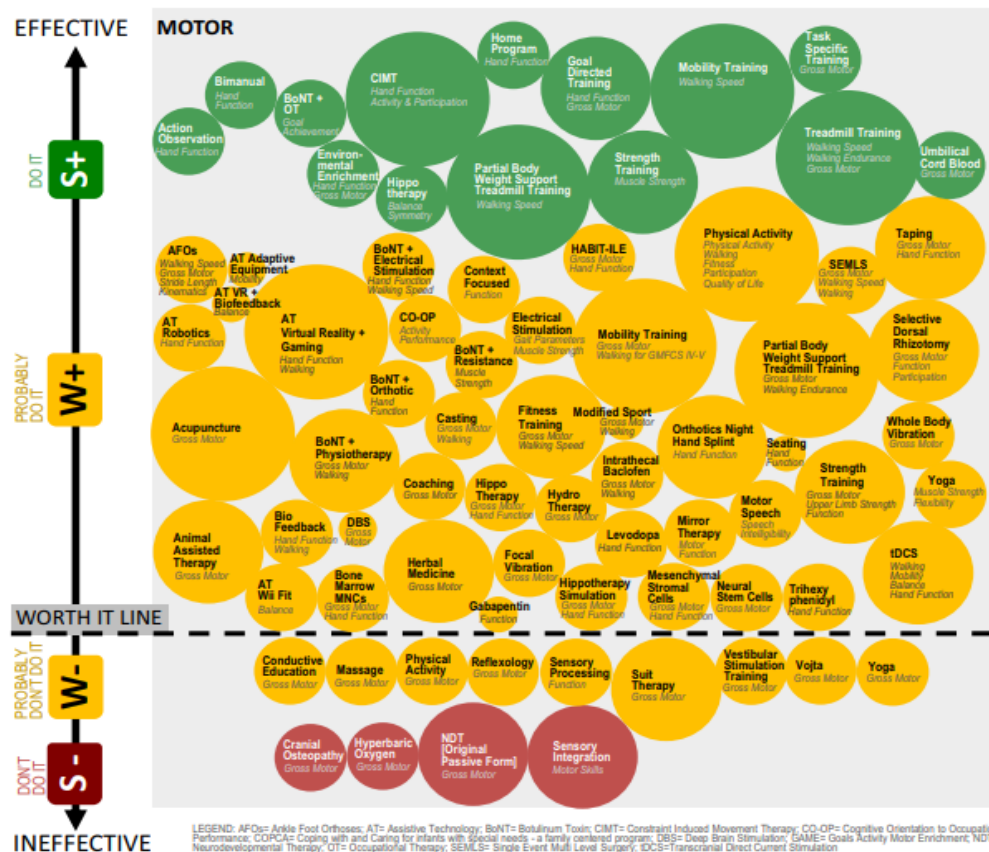


Figure 19: Feux tricolores de Novak [176].

Dans la même logique, le guide international de pratique clinique de Jackman et al. recommandent la pratique de marche supervisée comme intervention principale pour améliorer la capacité de marche, et positionne le TT comme un complément pertinent lorsque disponible, pour augmenter la dose de pratique. Le guideline précise que, chez les enfants GMFCS I–III, l’entraînement à la marche est une option valide, à condition d’être intégré dans un programme orienté objectifs et contextualisé (approche whole-task) [176, 196].

Malgré des preuves croissantes en faveur de l’entraînement à la marche, les variations des résultats entre études s’expliquent largement par l’hétérogénéité des protocoles (dose, intensité, assistance), des profils fonctionnels (GMFCS) et des critères de jugement. Les données récentes suggèrent que l’enjeu n’est plus seulement d’augmenter la vitesse ou la distance, mais d’optimiser le compromis entre capacité, efficacité et transfert écologique, ce qui justifie l’approche multimodale et l’utilisation d’outcomes combinés (performance + coût + participation).

PARTIE PRATIQUE

7 PATIENTS ET METHODES

7.1 Les objectifs de l'étude

Objectif principal :

De démontrer l'apport d'un entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel pendant huit semaines à raison de cinq fois par semaine, sur les capacités locomotrices des enfants atteints de PC marchants (GMFCS I, II et III), pris en charge à l'EHS Seraïdi.

Objectifs secondaires :

1. De décrire le profil épidémioclinique de la population étudiée,
2. De dégager des profils locomoteurs fonctionnels chez les enfants atteints de PC ambulants,
3. D'identifier les profils de réponse à l'entraînement et les sous-groupes GMFCS (I, II et III) tirant le plus grand bénéfice du programme
4. De proposer plusieurs pistes de recommandations, qui devront être confirmées par des études contrôlées de plus grande envergure.

7.2 Cadre et population

7.2.1 Type de l'étude

Étude monocentrique, expérimentale, interventionnelle de type Avant / Après, sans groupe de contrôle, ciblant 43 enfants atteints de PC, évaluant l'effet d'un protocole d'entraînement intensif à la marche sur les capacités locomotrices d'enfants atteints de PC ambulatoire (GMFCS I-III), pris en charge au service de Médecine Physique et de Réadaptation B (MPR B) de l'EHS Seraïdi d'Annaba.

7.2.2 Lieu et durée de l'étude

L'étude a été réalisée au sein de l'unité d'hospitalisation pédiatrique de l'EHS Seraïdi d'Annaba, sur une période de deux années, s'étendant du 1er octobre 2023 au 30 septembre 2025.

7.3 Échantillon étudié

Il s'agit d'une étude exhaustive incluant l'ensemble des enfants atteints de PC classés GMFCS I, II et III ayant consulté et été pris en charge dans notre service durant la période d'étude. Aucun échantillonnage n'a donc été réalisé, l'objectif étant d'inclure la totalité de la population cible au sein de la structure.

Au terme de la période de recrutement, 43 enfants ont été inclus dans l'étude, dont 26 recrutés au cours de l'année 2024 et 17 au cours de l'année 2025.

7.4 Population à étudier

La population étudiée comprenait l'ensemble des enfants suivis en consultation de MPR à l'EHS Seraïdi et répondant aux critères de sélection définis ci-dessous.

7.4.1 Critères d'inclusion

Ont été inclus dans l'étude :

- les enfants âgés de 4 à 17 ans ;
- les enfants présentant un diagnostic confirmé de PC ;
- les enfants atteints de PC ambulatoires, classés GMFCS niveaux I, II ou III ;
- les enfants capables de comprendre des consignes simples et d'y répondre de manière claire « oui » / « non ».

7.4.2 Critères de non inclusion

N'ont pas été inclus :

- les enfants présentant une pathologie associée susceptible de contre-indiquer l'effort (maladie cardiorespiratoire sévère, épilepsie non contrôlée) ;
- les enfants ayant bénéficié d'une chirurgie orthopédique des membres inférieurs ou d'injections de toxine botulique dans les six mois précédant l'inclusion ;
- les enfants dont les parents ont refusé la participation au protocole d'entraînement ou à l'étude.

7.5 Recueil des données

Lors d'une consultation préliminaire de MPR, les modalités de la prise en charge et les objectifs de l'étude ont été expliquées aux enfants répondant aux critères d'inclusion ainsi qu'à leurs parents. Une hospitalisation de 8 semaines a été proposée, avec ou sans accompagnant, selon le souhait de l'enfant et de sa famille. Après obtention du consentement, le protocole de l'étude a été initié.

Le recueil des données a été réalisé à l'aide d'un questionnaire standardisé (Annexe5), par les médecins MPR ou les résidents affectés à l'unité d'hospitalisation pédiatrique.

7.6 Déroulement de l'étude

7.6.1 Evaluation des capacités locomotrices et fonctionnelle

Les évaluations ont été effectuées de manière ponctuelle, les mardis, à trois temps : au début du protocole (S0), à la 4^e semaine (S4) et à la 8^e semaine (S8), toujours à distance des repas et des séances d'entraînement.

Les mesures ont été réalisées de façon standardisée par au moins deux évaluateurs, au niveau du plateau technique de l'unité d'hospitalisation, selon les modalités suivantes :

1. Vitesse de marche rapide

La vitesse de marche rapide a été mesurée à l'aide du 10MWT. L'enfant marchait le plus vite possible sans courir. Deux essais ont été réalisés et la moyenne retenue ; un troisième essai était proposé si la consigne n'était pas comprise.

2. Endurance à la marche

L'endurance a été évaluée à l'aide du 6MWT, réalisé à une vitesse confortable auto-sélectionnée. Les enfants portaient leurs chaussures et aides techniques habituelles.

Avant le test, la fréquence cardiaque (FC) et la VO₂ de repos ont été mesurées après cinq minutes de repos assis. L'échelle de Borg (0–10) a été expliquée à chaque enfant. Le test consistait à marcher pendant six minutes sur un circuit en boucle de 20 mètres, avec encouragements verbaux standardisés chaque minute. À l'issue du test, la distance parcourue, la FC et la saturation en oxygène ont été relevées.

3. Efficience de la marche

L'efficience de la marche a été évaluée de manière indirecte par le calcul de l'indice de dépense énergétique (IDE) selon la formule suivante :

$$\text{IDE} = (\text{FC marche} - \text{FC repos}) / \text{vitesse de marche (battements par mètre)}$$

4. Fonction motrice globale

La fonction motrice globale a été évaluée à l'aide du GMFM-88, dimension E, et le questionnaire ABILOCO-KIDS a été rempli avec l'aidant principal au début (S0) et à la fin du protocole (S8).

7.6.2 Entraînement intensif à la marche sur tapis roulant

Le protocole d'entraînement consistait en un entraînement à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel, à raison de 25 minutes par séance, cinq séances par semaine, pendant 8 semaines.

Chaque séance comprenait :

- 5 minutes d'échauffement à faible vitesse,
- une phase d'entraînement à vitesse confortable progressivement augmentée afin d'atteindre une intensité cible correspondant à environ 65 % de la fréquence cardiaque de réserve,
- 5 minutes de retour au calme.

Un kinésithérapeute ou un accompagnant restait à proximité de l'enfant durant toute la séance afin d'assurer sa sécurité.

Durant la période d'hospitalisation, les enfants bénéficiaient également de kinésithérapie conventionnelle, ainsi que, selon les besoins, de séances d'orthophonie, d'ergothérapie et d'un suivi scolaire hospitalier.

7.6.3 Équipe de recherche

L'étude a été conduite sous la responsabilité du médecin chef du service de MPR B de l'EHS Seraïdi d'Annaba, avec la collaboration de l'ensemble du personnel médical et paramédical de l'unité d'hospitalisation pédiatrique.

L'équipe de recherche comprenait :

- Deux maîtres assistantes et deux résidents en MPR, chargés du recrutement des patients, des évaluations cliniques et fonctionnelles, ainsi que du suivi des enfants tout au long du protocole ;
- Une psychologue clinicienne, impliquée dans l'évaluation et la prise en charge psychologique des patients lorsque nécessaire ;
- Quatre kinésithérapeutes, responsables de la mise en œuvre des séances d'entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel ;
- Un appareilleur, en charge de l'ajustement des orthèses et des aides techniques utilisées par les enfants ;
- Le personnel infirmier et les agents de service, assurant la prise en charge globale des enfants hospitalisés.

Avant le début de l'étude, des réunions de coordination et de formation ont été organisées avec l'ensemble des investigateurs impliqués dans le recueil des données et la réalisation des séances d'entraînement. Ces réunions ont porté sur les objectifs de l'étude, les critères de sélection, la standardisation des évaluations, l'utilisation de la fiche technique de recueil des données et le rôle de chaque intervenant, afin d'assurer l'homogénéité et la qualité du protocole.

7.7 Critères de jugement

Le critère de jugement principal est la variation de la performance à la marche entre l'évaluation initiale (pré-intervention) et l'évaluation finale (post-intervention), mesurée à l'aide de tests fonctionnels standardisés.

Dans ce type d'étude avant–après, chaque sujet est comparé à lui-même.

Critère de jugement principal:

La variation de la performance à la marche entre l'évaluation initiale (pré-intervention) et l'évaluation finale (post-intervention), mesurée par les tests standardisés. On compare de ce fait un sujet à lui-même.

- Vitesse confortable de marche
- Vitesse rapide de marche

- Endurance (distance parcourue)
- Efficience de la marche

Critères de jugement secondaires :

- L'évolution des scores fonctionnels locomoteurs, évalués par le GMFM et l'ABILOCO-Kids,
- L'analyse des corrélations entre les variations des paramètres fonctionnels et locomoteurs observées avant et après l'intervention.

7.8 Techniques statistiques employées

La saisie, le contrôle de qualité et le traitement des données ont été réalisés à l'aide des logiciels SPSS, EpiData et Microsoft Excel 2019.

7.8.1 Analyse descriptive

Les variables ont été décrites selon leur nature :

- Les variables qualitatives ont été présentées sous forme d'effectifs et de pourcentages, avec calcul des intervalles de confiance à 95 % lorsque cela était pertinent.
- Les variables quantitatives ont été décrites par la moyenne et l'écart type (Moy \pm ET), ainsi que par les valeurs minimales et maximales en cas de dispersion importante.

7.8.2 Analyse analytique

Les analyses comparatives et relationnelles ont été conduites comme suit :

- La comparaison des variables qualitatives entre groupes a été réalisée à l'aide du test du Khi-deux (χ^2) de Pearson, du χ^2 de tendance ou du χ^2 corrigé de Yates, selon les effectifs théoriques.
- Les intervalles de confiance pour les tailles d'effet ont été calculés selon les méthodes standards.

- La comparaison de deux moyennes appariées a été effectuée à l’aide du test t de Student pour séries appariées, afin d’évaluer l’évolution des paramètres quantitatifs au cours du protocole.
- Les analyses selon le niveau fonctionnel (GMFCS I à III) ont été réalisées par stratification de l’échantillon, avec des comparaisons intra-groupe avant–après. Aucune comparaison statistique directe entre sous-groupes indépendants n’a été réalisée.
- Les tailles d’effet ont été systématiquement calculées à l’aide du Cohen’s d, puis corrigées par le Hedges’ g afin de limiter la surestimation liée à la taille modérée des échantillons, avec estimation des intervalles de confiance à 95 %.
- Les relations entre variables quantitatives continues ont été étudiées par des analyses de corrélation de Pearson, incluant des analyses des niveaux (Semaine 0, Semaine 8) et des changements (Δ = Semaine 8 – Semaine 0).

7.8.3 Seuil de significativité

Pour l’ensemble des analyses statistiques, le risque de première espèce (α) a été fixé à 5 % ($p < 0,05$).

7.9 Implications éthiques

Tous les principes d’éthique et de sécurité recommandés dans les recherches impliquant des participants humains par le Conseil des organisations internationales des sciences médicales (CIOMS), en collaboration avec l’OMS, ont été rigoureusement respectés durant toutes les phases de l’étude, notamment la ligne directrice 7 intitulée « Recherche impliquant des enfants et des adolescents ».

Avant la réalisation de l’étude, tous les participants ont été informés que la recherche est conforme aux recommandations éthiques et que la participation est volontaire et anonyme. Ainsi, toutes les étapes de cette étude ont été effectuées dans le respect de l’assurance de l’anonymat total, la confidentialité et la sécurité des personnes.

Par ailleurs, l’équipe de recherche a tenu compte des considérations d’ordre éthique ci-dessous :

La participation des enfants à l’étude était strictement volontaire. Les parents ou tuteurs légaux ont reçu une information complète, présentée dans un langage accessible, leur permettant de comprendre les objectifs, le déroulement et les implications de la

recherche.

Un formulaire de consentement éclairé rédigé dans les deux langues a été remis aux parents (**annexe 6**), afin de garantir une compréhension optimale avant toute inclusion. Le consentement a été recueilli librement, après que les parents ont été explicitement interrogés sur leur souhait de faire participer ou non leur enfant à l'étude, sans aucune contrainte et avec la possibilité de refuser la participation.

Les avis des plus jeunes ont été représentés à travers les parents ou tuteurs légaux.

De ce fait, au début de chaque entretien, le médecin consultant présentait un formulaire explicatif rédigé en arabe et en français, renfermant le cadre et les objectifs de l'étude, tout en signalant qu'un strict anonymat des informations les concernant sera préservé.

8 RESULTATS

8.1 Données relatives au profil sociodémographique

Tableau 8: Répartition des enfants selon le sexe

<i>Sexe</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Féminin</i>	<i>17</i>	<i>39,5</i>
<i>Masculin</i>	<i>26</i>	<i>60,5</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Sur les 43 enfants inclus, 26 étaient de sexe masculin (60,5 %) et 17 de sexe féminin (39,5 %), avec un ratio H/F de 1,5.

Tableau 9 : Répartition des enfants selon l'Age

<i>Effectif (n)</i>	<i>Âge moyen \pm ET (années)</i>	<i>Âge minimum – maximum (années)</i>
<i>43</i>	<i>8,3 \pm 3,9</i>	<i>4-17</i>

Tableau 10: Répartition des enfants selon le milieu d'habitation

<i>Milieu d'habitation</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Fréquence (%)</i>
<i>Rural</i>	<i>26</i>	<i>60,5</i>
<i>Urbain</i>	<i>17</i>	<i>39,5</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 11: Répartition des enfants selon le lieu d'habitation

<i>Lieu d'habitation</i>	<i>Effectif (%)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
ANNABA	19	44,2
EL TAREF	6	14
GUELMA	4	9,3
KHENCHELA	1	2,3
OEB	2	4,7
OUED SOUF	1	2,3
SIKIDA	5	11,6
SOUK AHRAS	2	4,7
TEBESSA	3	7
Total	43	100

Les enfants provenaient principalement d'Annaba (19, 44,2 %), suivis de Skikda (5, 11,6 %) et d'El Taref (6, 14 %). Les autres provinces étaient moins représentées (<10 % chacun).

Tableau 12: Répartition des enfants selon le tuteur légal

<i>Tuteur légal</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
Père	39	90,7
Mère	3	7
Autre	1	2,3
Total	43	100

Le tuteur légal principal était le père pour 39 enfants (90,7 %), la mère pour 3 (7 %) et un autre membre familial pour 1 (2,3 %).

Tableau 13: Répartition des enfants selon la couverture par une assurance maladie

<i>Assurance maladie</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
Non	7	16,3
Oui	36	83,7
Total	43	100

Tableau 14: Répartition des enfants assurés selon le taux de couverture de l'assurance maladie (n = 36)

<i>Taux de couverture</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
80 %	14	38,9
100 %	22	61,1
Total	36	100

Tableau 15: Répartition des enfants selon la profession du père

<i>Profession du père</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
AGENT d'hygiène	1	2,3
AGENT de SECURITE	6	14
ARCHITECTE	1	2,3
COMMERCANT	1	2,3
DECEDE	4	9,3
ELECTRICIEN	1	2,3
FONCTIONNAIRE	5	11,6
JOURNALIER	8	18,6
MILITAIRE	7	16,3
SANS	9	20,9
Total	43	100

La profession des pères était majoritairement précaire ou absente : 20,9 % sans emploi, 18,6 % journaliers, 14 % agents de sécurité, et 27,9 % dans des professions stables (fonctionnaires/militaires).

Tableau 16: Répartition des enfants selon la profession de la mère

<i>Profession de la mère</i>	<i>Effectif(n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Dentiste</i>	<i>1</i>	<i>2,3</i>
<i>Fonctionnaire</i>	<i>1</i>	<i>2,3</i>
<i>Institutrice</i>	<i>1</i>	<i>2,3</i>
<i>Secrétaire</i>	<i>1</i>	<i>2,3</i>
<i>Sans</i>	<i>39</i>	<i>90,7</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Les mères étaient pour 90,7 % sans activité professionnelle.

Tableau 17: Répartition des enfants selon les aidants principaux

<i>Aidant principal</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Grand-mère</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>Mère</i>	<i>40</i>	<i>93</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 18: Répartition des enfants selon les aidants secondaires impliqués dans la prise en charge

<i>Aidants secondaires</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Absence</i>	<i>33</i>	<i>76,7</i>
<i>Grand-mère</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>Mère</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>Tante maternelle</i>	<i>4</i>	<i>9,3</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 19: Répartition des enfants selon le statut de scolarisation

<i>Scolarisation</i>	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Normale</i>	35	81,4
<i>Spéciale</i>	1	2,3
<i>Totale</i>	36	83,7
<i>Non scolarisé</i>	7	16,3
<i>Total</i>	43	100

Parmi les 36 enfants scolarisés (83,7 %), 35 fréquentaient une scolarisation normale et 1 une scolarisation spéciale. La moitié des enfants scolarisés au primaire ou plus présentaient un retard d'au moins une classe.

Tableau 20: Répartition des enfants selon le niveau scolaire (n=36)

<i>Niveau scolaire</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Coranique /crèche</i>	7	19,4
<i>Pré-scolaire</i>	3	8,3
<i>Primaire</i>	18	50
<i>Moyen</i>	6	16,7
<i>Lycée</i>	2	5,6
<i>Total</i>	36	100

Parmi les 36 enfants scolarisés (83,7 %), 35 fréquentaient une scolarisation normale et 1 une scolarisation spéciale. La moitié des enfants scolarisés au primaire ou plus présentaient un retard d'au moins une classe.

8.2 Données relatives à l'interrogatoire

Tableau 21: Répartition des enfants selon la consanguinité parentale

<i>Consanguinité parentale</i>	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	40	93
<i>Oui</i>	3	7
<i>Total</i>	43	100

Tableau 22: Répartition des enfants selon un déficit neurologique chez les parents

<i>Déficit neurologique maternel/paternel</i>	<i>Effectif</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 23: Répartition des enfants selon l'état de santé de la fratrie

<i>État de santé de la fratrie</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Décès prématuré</i>	<i>1</i>	<i>2,3</i>
<i>PC</i>	<i>4</i>	<i>9,3</i>
<i>Pas d'antécédents</i>	<i>38</i>	<i>88,4</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

La fratrie était saine pour 38 enfants (88,4 %), avec 4 cas de paralysie cérébrale (9,3 %) et 1 décès prématuré (2,3 %).

Tableau 24: Répartition des enfants selon les antécédents similaires familiaux

<i>Antécédents familiaux similaires</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>40</i>	<i>93</i>
<i>Oui</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Des antécédents similaires chez les cousins et oncle ont été rapportés chez 7,0 % des enfants.

Tableau 25: Répartition des enfants selon l'issu d'une grossesse gémellaire

<i>Grossesse gémellaire</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>40</i>	<i>93</i>
<i>Oui</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Trois enfants étaient issus d'une grossesse gémellaire, avec un jumeau sain, un jumeau affecté et un cas de perte du jumeau.

Tableau 26: Répartition des enfants selon la présence d'une infection maternelle au cours de la grossesse

<i>Infection maternelle</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	41	95,3
<i>Oui</i>	2	4,7
<i>Total</i>	43	100

Tableau 27: Répartition des enfants selon la présence d'une menace d'accouchement prématuré

<i>Accouchement prématuré</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	34	79,1
<i>Oui</i>	9	20,9
<i>Total</i>	43	100

Tableau 28: Répartition des enfants selon le terme de la naissance

<i>Terme de la naissance</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non (prématurité)</i>	11	25,6
<i>Oui</i>	32	74,4
<i>Total</i>	43	100

Tableau 29: Répartition des enfants selon une réanimation à la naissance

<i>Réanimation à la naissance</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>22</i>	<i>51,2</i>
<i>Oui</i>	<i>21</i>	<i>48,8</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 30: Répartition des enfants selon les troubles de l'alimentation néonatale

<i>Troubles alimentaires</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Oui</i>	<i>1</i>	<i>2,3</i>
<i>Non</i>	<i>42</i>	<i>97,6</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 31: Répartition des enfants selon la souffrance à l'accouchement

<i>Souffrance à l'accouchement</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>22</i>	<i>51,2</i>
<i>Oui</i>	<i>21</i>	<i>48,8</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 32: Répartition des enfants selon le score d'Apgar à 5min

<i>Score d'Apgar 5min</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Faible (0 – 3)</i>	<i>8</i>	<i>18,6</i>
<i>Intermédiaire (4 – 6)</i>	<i>13</i>	<i>30,2</i>
<i>Normal (7 – 10)</i>	<i>22</i>	<i>51,2</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 31 : Répartition des enfants selon le score d'Apgar à 10 min

<i>Catégorie Apgar (10 min)</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Faible (0–3)</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Intermédiaire (4–6)</i>	<i>3</i>	<i>7</i>
<i>Bon (7–10)</i>	<i>40</i>	<i>93</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 33: Répartition des enfants selon le diagnostic étiologique retenu

<i>Étiologie</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Asphyxie périnatale</i>	<i>21</i>	<i>48,8</i>
<i>Prématurité</i>	<i>11</i>	<i>25,6</i>
<i>Infection néonatale</i>	<i>6</i>	<i>13,9</i>
<i>Ictère nucléaire</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Étiologie indéterminée</i>	<i>11</i>	<i>25,6</i>

Le même enfant pouvait cumuler deux étiologies ou plus ; parmi les 11 prématurés, 7 avaient souffert à la naissance

Tableau 34: Répartition des enfants selon l'âge des acquisitions motrices

<i>Âge tenue de la tête (mois)</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>3–4 mois</i>	<i>23</i>	<i>53,5</i>
<i>≥ 6 mois</i>	<i>20</i>	<i>46,5</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 35: Répartition des enfants selon l'âge d'acquisition de la station assise

<i>Âge d'acquisition de la station assise</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>< 8 mois</i>	<i>14</i>	<i>32,6</i>
<i>8–12 mois</i>	<i>19</i>	<i>44,2</i>
<i>> 12 mois</i>	<i>10</i>	<i>23,3</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 36: Répartition des enfants selon l'âge d'acquisition de la marche

<i>Âge d'acquisition de la marche</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>< 20 mois</i>	<i>10</i>	<i>23,3</i>
<i>20–36 mois</i>	<i>27</i>	<i>62,8</i>
<i>> 36 mois</i>	<i>6</i>	<i>14,0</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 37: Répartition des enfants selon la moyenne d'âge des acquisitions motrices

<i>Acquisition motrice</i>	<i>Min - Max (mois)</i>	<i>Moy ± ET (mois)</i>
<i>Tenue de la tête</i>	<i>3,0 - 24,0</i>	<i>6,00± 4,0</i>
<i>Station assise</i>	<i>4,0 - 48,0</i>	<i>11,49± 8,0</i>
<i>4 pattes</i>	<i>2,0 - 36,0</i>	<i>14,55</i>
<i>Marche</i>	<i>9,0 - 72,0</i>	<i>28,44± 13,3</i>

Les acquisitions motrices étaient globalement retardées, avec une tenue de tête acquise en moyenne à $6,0 \pm 4,0$ mois, une station assise à $11,5 \pm 8,0$ mois et une marche indépendante à $28,4 \pm 13,3$ mois.

Tableau 38: Réalisation des enfants selon la réalisation d'un scanner

<i>Scanner</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>39</i>	<i>90,7</i>
<i>Oui</i>	<i>4</i>	<i>9,3</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 39: Répartition des enfants selon les résultats scanner (n=4)

<i>Résultats du scanner</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Sans anomalie</i>	<i>2</i>	<i>33,3</i>
<i>Pathologique</i>	<i>2</i>	<i>66,7</i>
<i>Total</i>	<i>4</i>	<i>100</i>

Tableau 40: Répartition des enfants selon la réalisation d'une IRM cérébrale

<i>Réalisation d'une IRM</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>5</i>	<i>11,6</i>
<i>Oui</i>	<i>38</i>	<i>88,4</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Tableau 41: Répartition des enfants selon les résultats de l'IRM (n = 38)

<i>Résultats de l'IRM</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Normale</i>	<i>8</i>	<i>21,1</i>
<i>Pathologique</i>	<i>30</i>	<i>78,9</i>
<i>Total</i>	<i>38</i>	<i>100</i>

Les anomalies observées dans les IRM pathologiques sont : les lésions de la substance blanche, des infarctus sylviens, des lésions des cavités porencéphaliques ou des

séquelles d'AVC ischémique périnatal. Des malformations du développement cérébral, telles que la schizencéphalie, l'agénésie ou l'hypoplasie du corps calleux.

Tableau 42: Répartition des cas selon la réalisation d'EEG

<i>EEG</i>	<i>Effectif(n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Non</i>	<i>33</i>	<i>76,7</i>
<i>Oui</i>	<i>10</i>	<i>23,3</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

La réalisation de l'EEG était principalement indiquée en cas de crises convulsives.

8.3 Données relatives au bilan clinique

Tableau 43: Répartition des enfants selon le niveau fonctionnel GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>I</i>	<i>10</i>	<i>23,3</i>
<i>II</i>	<i>21</i>	<i>48,8</i>
<i>III</i>	<i>12</i>	<i>27,9</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Les niveaux GMFCS I et II étaient les plus représentés dans l'échantillon avec un taux cumulé de 72%, avec une représentation non négligeable du GMFCS III (27,9 %). Quel que soit le niveau GMFCS, les garçons sont majoritaires.

Tableau 44: Répartition des enfants selon le tableau clinique

<i>Type d'atteinte</i>	<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Hémiplégie</i>	<i>16</i>	<i>37,2</i>
<i>Quadriplégie</i>	<i>27</i>	<i>62,8</i>
<i>Total</i>	<i>43</i>	<i>100</i>

Dans notre échantillon, 37,2 % des enfants présentaient une hémiplégie stricte, définie par une atteinte exclusivement unilatérale, tandis que 62,8 % présentaient une atteinte bilatérale classée comme quadriplégie.

Tableau 45: Répartition des enfants selon les troubles sensoriels et neurologiques associés

<i>Type du Trouble sensoriel et neurologique</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Visuel</i>	<i>Non</i>	<i>33</i>	<i>76,7</i>
	<i>Oui</i>	<i>10</i>	<i>23,3</i>
<i>Auditif</i>	<i>Non</i>	<i>43</i>	<i>100</i>
<i>Sensitif</i>	<i>Non</i>	<i>43</i>	<i>100</i>
<i>Epilepsie</i>	<i>Non</i>	<i>30</i>	<i>69,8</i>
	<i>Oui</i>	<i>13</i>	<i>30,2</i>

Tableau 46: Répartition des enfants selon les troubles de la communication et de la cognition

<i>Type du trouble</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Parole</i>	<i>Non</i>	<i>19</i>	<i>44,2</i>
	<i>Oui</i>	<i>24</i>	<i>55,8</i>
<i>Cognition</i>	<i>Non</i>	<i>17</i>	<i>39,5</i>
	<i>Oui</i>	<i>26</i>	<i>60,5</i>

8.4 Données relatives à la prise en charge

Tableau 47: Répartition des enfants selon l'utilisation des orthèses de posture

<i>Type d'orthèses de posture</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Attelle suro-pédieuse</i>	<i>Non</i>	8	18,6
	<i>Oui</i>	35	81,4
<i>Attelle cruro-jambière</i>	<i>Non</i>	30	69,8
	<i>Oui</i>	13	30,2
<i>Attelle palmaire</i>	<i>Non</i>	25	58,1
	<i>Oui</i>	18	41,9

Tableau 48: Répartition des enfants selon l'utilisation des orthèses de marche

<i>Type d'attelle de fonction</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Attelle de marche rigide</i>	<i>Oui</i>	23	53,5
	<i>Non</i>	20	46,5
	<i>Total</i>	43	100
<i>Attelle de marche articulée</i>	<i>Non</i>	41	95,3
	<i>Oui</i>	2	4,6
	<i>Total</i>	43	100

La moitié de nos patients bénéficiaient d'une orthèse de marche lors de leurs séjours à l'hôpital, ces appareillages étaient portés lors des tests d'évaluation sauf pour le GMFM, ou les patients gardaient uniquement leurs chaussettes.

Tableau 49: Répartition des enfants selon l'utilisation d'un chaussage orthopédique et talonnettes

<i>Type de chaussage</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Chaussures</i>	<i>Non</i>	25	58,1
	<i>Oui</i>	18	41,8
	<i>Total</i>	43	100,0
<i>Talonnettes</i>	<i>Non</i>	35	81,4
	<i>Oui</i>	8	18,6
	<i>Total</i>	43	100

Les chaussures orthopédiques étaient utilisées principalement de façon bilatérale.

Tableau 50: Répartition des enfants selon l'utilisation des aides à la marche

<i>Type de l'aide technique</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Canne</i>	<i>Unilatérale</i>	1	2,3
	<i>Bilatérale</i>	1	2,3
<i>Cadre Déambulateur</i>	<i>Non</i>	32	74,4
	<i>Oui</i>	11	25,6
<i>Autre</i>	<i>Bandes de dérotation</i>	1	2,3
	<i>Système releveur</i>	2	4,7
<i>Fauteuil Roulant</i>	<i>Non</i>	32	74,4
	<i>Oui</i>	11	25,6

Tableau 51: Répartition des enfants selon les traitements médicamenteux et interventions spastiques

<i>Traitements anti spastiques</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Traitement anti épileptique</i>		13	30,2 %
<i>Nombre d'injection de toxine</i>	0	6	14
	1	13	30,2
	2-3	17	39,6
	4	7	16,3
	Total	43	100
<i>Nombre de plâtre</i>	0	26	60,5
	1	8	18,6
	2	3	7,0
	3	5	11,6
	4	1	2,3
	Total	43	100,0

Près d'un tiers des enfants (30,2 %) recevaient un traitement antiépileptique, le Valproate de sodium était la première molécule prescrite suivi du Lévétiracétam ; tandis que 86 % avaient bénéficié d'au moins une injection de toxine botulique, le recours au plâtre de redressement restait plus limité.

Tableau 52: Répartition des enfants selon la prise en charge rééducative associée

<i>Type de PEC rééducative</i>		<i>Effectif (n)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
<i>Kinésithérapie</i>	Non	3	7
	Oui	40	93
<i>Orthophonie</i>	Non	32	74,4
	Oui	11	25,6
<i>Ergothérapie</i>	Non	22	51,2
	Oui	21	48,8

Tableau 53 : Répartition des enfants selon les antécédents chirurgicaux orthopédiques

Type d'antécédents chirurgicaux	Effectif (n)	Pourcentage (%)
Osseuse (antétorsion fémorale)	1	2,3
Membre supérieur gauche	1	2,3
Multisite	10	23,3
Non	33	76,7

Une intervention chirurgicale orthopédique avait été réalisée chez 23,3 % des enfants, incluant des procédures musculaires de type aponévrotomie ou chirurgie multisite.

8.5 Données relatives au protocole d'entraînement à la marche

Tableau 54 : Résultats des données anthropométriques

Anthropométrie	Min – Max	Moy ± ET
Taille (m)	[1,00 -1,78]	1,30 ± 0,20
Poids (Kg)	[15,0 -81,0]	29,8 ± 14,6
IMC kg/m ²	[10,4 -28,3]	16,7 ± 3,7

Parmi les enfants, 34 étaient considérés comme maigres, 6 normales et 9 en surpoids

Tableau 55 : Fréquence cardiaque avant et après le 6MWT selon le niveau GMFCS

GMFCS	Nombre de test (tests)	Moy ± ET FC avant (bpm)	Moy ± ET FC après (bpm)
I (n=10)	30	93,4 ± 8,1	165,3 ± 9,2
II (n=21)	63	98,8 ± 7,9	155,0 ± 7,9
III (n=12)	36	98,9 ± 7,8	152,8 ± 10,7

La fréquence cardiaque augmentait après le 6MWT dans l'ensemble des groupes GMFCS. Les valeurs de FC post-effort étaient plus élevées chez les enfants GMFCS I et plus faibles chez les enfants GMFCS III.

Tableau 56 : Variation de la FC induite par l'effort (ΔFC) selon le niveau GMFCS

Niveau GMFCS	Moy \pm ET de ΔFC
I (n=10)	71,40 \pm 12,09
II (n=21)	53,81 \pm 12,18
III (n=12)	51,25 \pm 11,84
Total général	57,19 \pm 14,23

ΔFC = fréquence cardiaque après 6MWT – fréquence cardiaque avant 6MWT (battements/min), correspond à l'augmentation de la fréquence cardiaque induite par l'effort. Les valeurs moyennes de ΔFC diminuaient avec l'augmentation du niveau de sévérité fonctionnelle, avec un ΔFC plus élevé chez les enfants GMFCS I et plus faible chez les enfants GMFCS II et III.

Tableau 57 : Évolution de la variation de la fréquence cardiaque (ΔFC) au cours du protocole selon le niveau GMFCS

GMFCS	Moy \pm ET de ΔFC à S0	Moy de \pm ET ΔFC à S4	Moy \pm ET de ΔFC à S8	moy \pm ET Total générale
I	71,40 \pm 12,09	74,90 \pm 14,76	69,30 \pm 14,34	71,87 \pm 13,50
II	53,81 \pm 12,18	57,71 \pm 11,11	57,00 \pm 12,07	56,17 \pm 11,73
III	51,25 \pm 11,84	53,00 \pm 11,58	57,42 \pm 13,47	53,89 \pm 12,26
Total général	57,19 \pm 14,23	60,40 \pm 14,49	59,98 \pm 13,71	59,19 \pm 14,11

Une augmentation modérée du ΔFC était observée à la semaine 4 dans les trois groupes GMFCS. En fin de protocole, les valeurs tendaient à se stabiliser, avec une légère diminution chez les enfants GMFCS I, des valeurs globalement stables chez les GMFCS II et une augmentation modérée chez les GMFCS III.

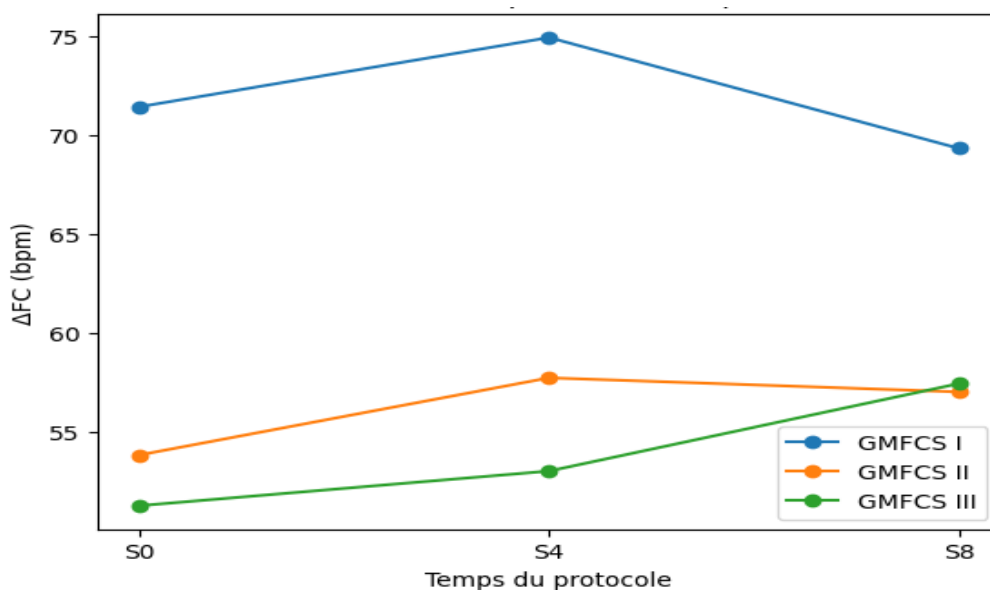


Figure 20 : Evolution du ΔFC selon le GMFCS

Les enfants GMFCS I présentent des valeurs de ΔFC plus élevées à tous les temps d'évaluation, avec une tendance à la stabilisation en fin de protocole. Les groupes GMFCS II et III montrent une augmentation modérée et progressive du ΔFC .

Tableau 58 : Distance parcourue au 6MWT selon le niveau GMFCS

Niveau GMFCS	Moy \pm ET Distance parcourue a S0	Moy \pm ET Distance parcourue a S4	Moy \pm ET Distance parcourue a S8	Gain absolu (m)	Gain relatif
I (n=10)	497,00 \pm 57,08	536,80 \pm 42,15	546,70 \pm 45,12	+49,7 m	+10,0 %
II (n=21)	323,95 \pm 77,27	351,24 \pm 81,89	375,90 \pm 84,91	+52,0 m	+16,0 %
III (n=12)	186,75 \pm 94,14	212,00 \pm 85,22	246,17 \pm 90,71	+59,4 m	+31,8 %
Total général	325,91 \pm 135,52	355,53 \pm 138,55	379,42 \pm 133,29	+53,5 m	+16,4 %

La distance parcourue au 6 WTS augmentait dans l'ensemble de la population, avec un gain moyen de +53 m entre S0 et S8. L'analyse stratifiée montrait une amélioration proportionnellement plus importante chez les enfants GMFCS III (+59 m, +32 %), malgré des distances absolues plus faibles.

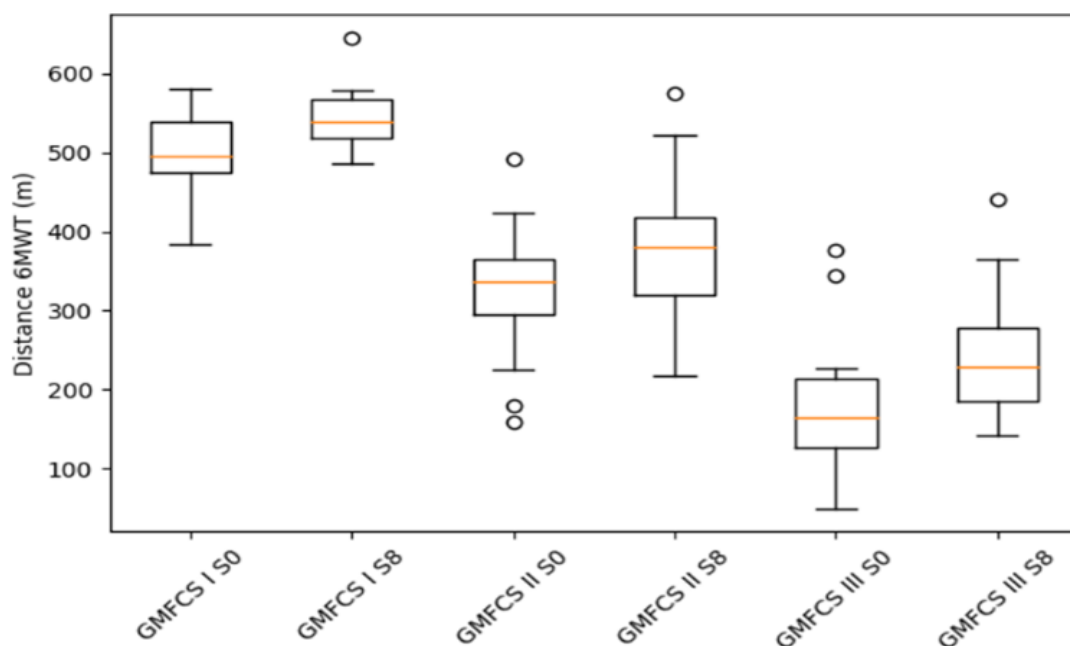


Figure 21 : Distribution de la distance parcourue au 6MWT selon le niveau GMFCS à l’inclusion (S0) et après huit semaines d’entraînement (S8).

Un déplacement global des distributions vers des distances plus élevées est observé dans l’ensemble des groupes GMFCS, avec une amélioration particulièrement marquée chez les enfants GMFCS III.

Tableau 59 : Évolution de la distance parcourue (Δ Distance) selon le GMFCS

GMFCS	<i>moy ± ET</i> <i>Δ Distance (S4 – S0)</i>	<i>moy ± ET</i> <i>Δ Distance (S8 – S4)</i>	<i>moy ± ET</i> <i>Δ Distance (Avant – Après)</i>
<i>I (n=10)</i>	<i>39,8 ± 37,4</i>	<i>9,9 ± 18,4</i>	<i>49,7 ± 41,3</i>
<i>II (n=21)</i>	<i>20,6 ± 30,3</i>	<i>31,3 ± 34,4</i>	<i>52,0 ± 30,7</i>
<i>III (n=12)</i>	<i>25,3 ± 19,7</i>	<i>34,2 ± 28,3</i>	<i>59,4 ± 39,9</i>

L’analyse stratifiée selon le GMFCS montrait une amélioration de la distance de marche dans tous les groupes fonctionnels. Les enfants GMFCS I présentaient une amélioration principalement précoce, tandis que les groupes GMFCS II et III montraient une amélioration plus progressive, avec des gains tardifs plus marqués chez les enfants GMFCS III.

Tableau 60 : Taille de l'effet du gain de distance de marche selon le GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>Moy ± ET Δ Distance</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>IC 95 % de g</i>	<i>Effet</i>
<i>I (n=10)</i>	<i>49,7 ± 41,3 m</i>	<i>1,10</i>	<i>[0,34 ; 1,86]</i>	<i>Effet important</i>
<i>II (n=21)</i>	<i>52,0 ± 30,7 m</i>	<i>1,63</i>	<i>[0,97 ; 2,29]</i>	<i>Effet très important</i>
<i>III (n=12)</i>	<i>59,4 ± 39,9 m</i>	<i>1,42</i>	<i>[0,62 ; 2,22]</i>	<i>Effet très important</i>

L'analyse de la taille d'effet du gain global de distance de marche montrait des effets importants à très importants selon le niveau fonctionnel, qui sont restés les mêmes après correction par *hedges' g*, afin de limiter la surestimation liée à la taille modérée de l'échantillon.

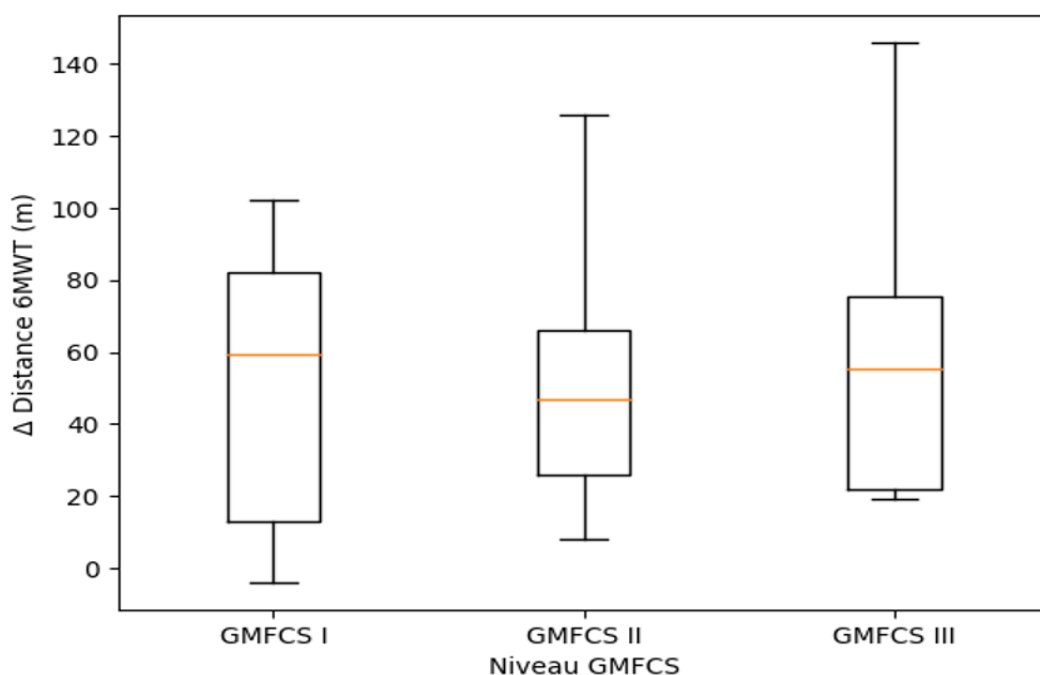


Figure 22 : Distribution des variations individuelles de la distance parcourue au 6MWT (Δ distance= S8 – S0) selon le niveau GMFCS.

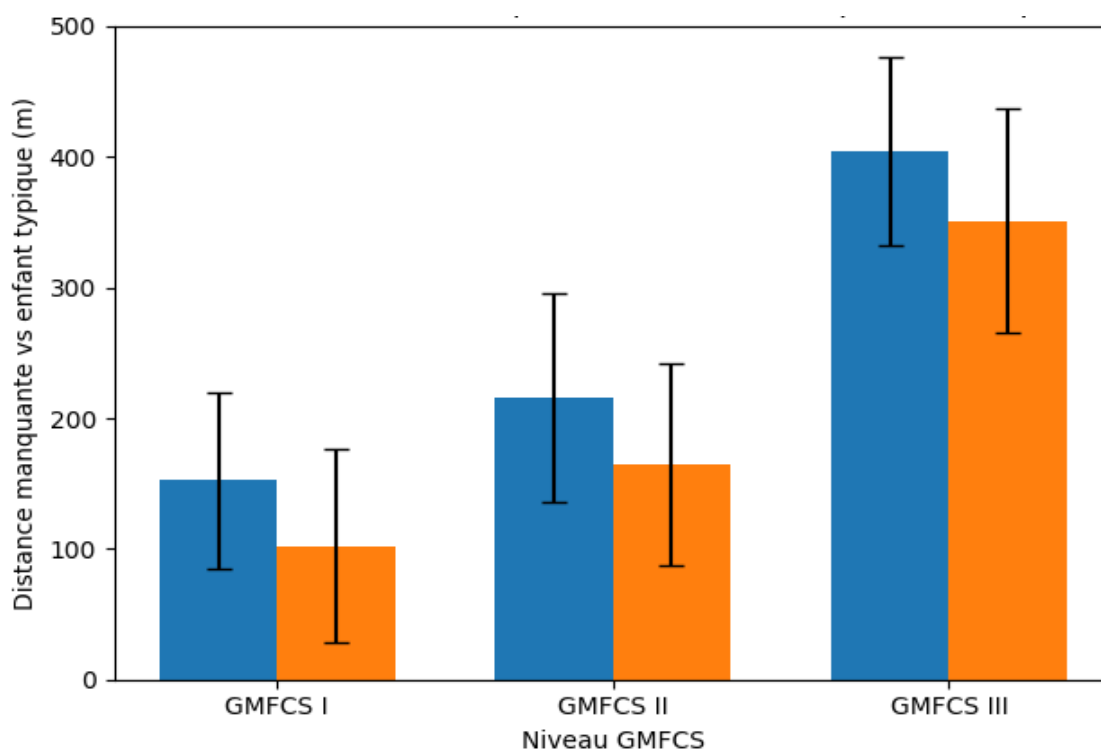


Figure 23 : Evolution de la distance manquante à S0 et à S8 du protocole selon le GMFCS

La figure illustre une diminution de la distance manquante dans l'ensemble des groupes GMFCS après huit semaines d'entraînement. L'écart à la norme reste plus important chez les enfants GMFCS III.

Tableau 61 : Évolution de la distance manquante par rapport aux normes de marche

<i>Moment d'évaluation</i>	<i>Moy ± ET de la Distance manquante (m) VS enfant typique</i>
<i>Avant protocole à S0</i>	<i>253,7 ± 122,5</i>
<i>Après protocole 0 S8</i>	<i>202,3 ± 123,9</i>
<i>Δ Distance manquante avant-après protocole</i>	<i>-51,4 m</i>

En moyenne, les enfants réduisaient l'écart à la norme de 51 m après 8 semaines.

Tableau 62 : Taille de l'effet de la réduction de la distance manquante selon le GMFCS

Niveau GMFCS	Moy ± ET de la distance manquante vs enfant typique (m) avant protocole	Moy ± ET de la distance manquante vs enfant typique (m) après protocole	P	Hedges' g	IC 95 %	Interprétation
I	152,4 ± 67,2	102,4 ± 74,6	0,004	-1,11	[-1,91 ; -0,30]	Effet important
II	216,0 ± 80,2	165,0 ± 77,3	< 0,001(DS)	-1,57	[-2,22 ; -0,92]	Effet très important
III	404,0 ± 72,3	350,8 ± 85,8	< 0,001(DS)	-1,30	[-2,09 ; -0,52]	Effet très important

Le signe négatif de *g* indique une réduction de la distance manquante (amélioration). L'analyse stratifiée selon le GMFCS montrait une diminution significative de la distance manquante par rapport aux enfants typiques dans l'ensemble des sous-groupes après le protocole.

Tableau 63 : Intervalles de vitesse de marche au 6MWT selon le niveau GMFCS

Niveau GMFCS	Min – Max vitesse S0 (m/min)	Min – Max vitesse S4 (m/min)	Min – Max vitesse S8 (m/min)	Min – Max vitesse Total (m/min)
I (n=10)	64,2 – 96,6	76,8 – 99,0	81,0 – 107,4	64,2 – 107,4
II (n=21)	26,4 – 82,2	27,6 – 87,6	36,6 – 96,0	26,4 – 96,0
III (n=12)	8,4 – 62,4	13,8 – 63,6	24,0 – 73,2	8,4 – 73,2
Total général	8,4 – 96,6	13,8 – 99,0	24,0 – 107,4	8,4 – 107,4

Les intervalles de vitesse de marche s'élargissaient progressivement dans l'ensemble des groupes GMFCS, avec des vitesses systématiquement plus élevées chez les enfants GMFCS I et une progression notable des bornes inférieures chez les GMFCS II et III.

Tableau 64 : Évolution de la vitesse de marche au 6MWT au cours du protocole

<i>Intervalle Temps</i>	<i>Moy ± ET de la vitesse initiale (m/min)</i>	<i>Moy ± ET de la vitesse finale (m/min)</i>	<i>P</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>IC 95 %</i>	<i>Effet taille</i>
<i>S0 → S4</i>	<i>54,3 ± 22,6</i>	<i>59,3 ± 23,1</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,06</i>	<i>[0,69 ; 1,44]</i>	<i>Effet important</i>
<i>S4 → S8</i>	<i>59,3 ± 23,1</i>	<i>63,2 ± 22,2</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,04</i>	<i>[0,67 ; 1,41]</i>	<i>Effet important</i>
<i>S0 → S8</i>	<i>54,3 ± 22,6</i>	<i>63,2 ± 22,2</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,49</i>	<i>[1,05 ; 1,92]</i>	<i>Effet très important</i>

La vitesse de marche augmentait significativement dès la quatrième semaine et continuait de progresser jusqu'à la fin du protocole. Les tailles d'effet étaient importantes à chaque étape et devenaient très importantes sur l'ensemble de la période S0–S8.

Tableau 65 : Vitesse moyenne de marche au 6MWT selon le niveau GMFCS

<i>Niveau GMFCS</i>	<i>Moy ± ET vitesse S0 (m/min)</i>	<i>Moy ± ET vitesse S4 (m/min)</i>	<i>Moy ± ET vitesse S8 (m/min)</i>	<i>Gain absolu S0-S8</i>	<i>Gain relatif S0-S8</i>
<i>I</i>	<i>82,8 ± 9,6</i>	<i>89,4 ± 7,2</i>	<i>91,2 ± 7,8</i>	<i>+8,4</i>	<i>+10 %</i>
<i>II</i>	<i>54,0 ± 12,6</i>	<i>58,8 ± 13,8</i>	<i>62,4 ± 14,4</i>	<i>+8,4</i>	<i>+16 %</i>
<i>III</i>	<i>31,2 ± 15,6</i>	<i>35,4 ± 14,4</i>	<i>40,8 ± 15,0</i>	<i>+9,6</i>	<i>+31 %</i>
<i>Total général</i>	<i>54,6 ± 22,8</i>	<i>59,4 ± 22,8</i>	<i>63,0 ± 22,2</i>	<i>+8,4</i>	<i>+15 %</i>

La vitesse moyenne de marche augmentait progressivement entre le début et la fin du protocole dans l'ensemble de la population, avec un gain relatif supérieur chez les GMFCS III.

Tableau 66 : Taille de l'effet des modifications de la vitesse de marche selon le niveau GMFCS

GMFCS	Moy \pm ET de la vitesse (m/min) à S0	Moy \pm ET de la vitesse (m/min) à S4	Moy \pm ET de la vitesse (m/min) à S8	p (S0-S8)	Hed ges' g	IC 95 %	Taille de l'effet
I	82,8 \pm 9,5	89,5 \pm 7,0	91,1 \pm 7,5	0,004	1,09	[0,29 ; 1,88]	Effet important
II	54,0 \pm 12,9	58,5 \pm 13,6	62,7 \pm 14,2	< 0,001(DS)	1,62	[0,96 ; 2,28]	Effet très important
III	31,1 \pm 15,7	35,3 \pm 14,2	41,0 \pm 15,1	< 0,001(DS)	1,38	[0,57 ; 2,18]	Effet très important

Les enfants GMFCS I présentaient les vitesses les plus élevées à tous les temps d'évaluation, tandis que les GMFCS II montraient la plus grande amplitude de réponse à l'entraînement suivis des GMFCS III, bien que présentant des vitesses plus faibles.

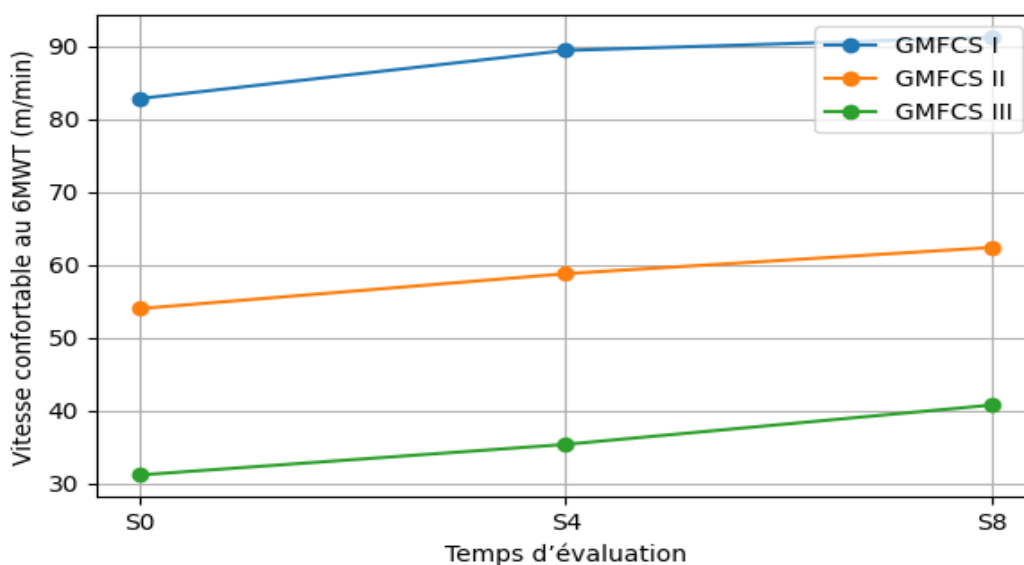


Figure 24 : Évolution de la vitesse de marche confortable au 6MWT selon le niveau GMFCS.

Un gradient clair selon le GMFCS est observé à chaque temps d'évaluation. Les enfants GMFCS III présentent la plus forte amélioration relative malgré des vitesses absolues

plus faibles, tandis que les GMFCS I conservent les vitesses les plus élevées sur l'ensemble du protocole.

Tableau 67 : Évolution de l'IDE au cours du protocole

<i>Evolution de l'IDE</i>	<i>t (ddl = 42)</i>	<i>P</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>IC 95 %</i>	<i>Taille de l'Effet</i>
<i>IDE S0 → S4</i>	<i>2,41</i>	<i>0,020</i>	<i>-0,36</i>	<i>[-0,67 ; -0,05]</i>	<i>Effet faible à modéré</i>
<i>IDE S4 → S8</i>	<i>4,85</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>-0,73</i>	<i>[-1,06 ; -0,39]</i>	<i>Effet modéré</i>
<i>IDE S0 → S8</i>	<i>4,57</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>-0,68</i>	<i>[-1,02 ; -0,35]</i>	<i>Effet modéré</i>

L'IDE diminuait significativement au cours du protocole. Une réduction d'ampleur faible à modérée était observée entre S0 et S4, suivie d'une diminution plus marquée entre S4 et S8. Sur l'ensemble du protocole, la diminution de l'IDE était significative et associée à une taille d'effet modérée.

Tableau 68 : Évolution de l'IDE selon le GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>IDE moyen S0</i>	<i>IDE moyen S8</i>	<i>Gain absolu</i>	<i>Gain relatif</i>
<i>I</i>	<i>0,87</i>	<i>0,76</i>	<i>-0,11</i>	<i>-12,6 %</i>
<i>II</i>	<i>1,04</i>	<i>0,94</i>	<i>-0,10</i>	<i>-9,6 %</i>
<i>III</i>	<i>1,98</i>	<i>1,55</i>	<i>-0,43</i>	<i>-21,7 %</i>
<i>Total</i>	<i>1,26</i>	<i>1,07</i>	<i>-0,19</i>	<i>-15,1 %</i>

L'analyse de l'IDE montre une diminution progressive dans l'ensemble des groupes GMFCS, avec une réduction moyenne globale de 15 % entre S0 et S8. Cette amélioration était particulièrement marquée chez les enfants GMFCS III, qui présentaient le gain absolu (-0,43 bpm/m) et relatif (-22 %) les plus importants, malgré des valeurs initiales élevées.

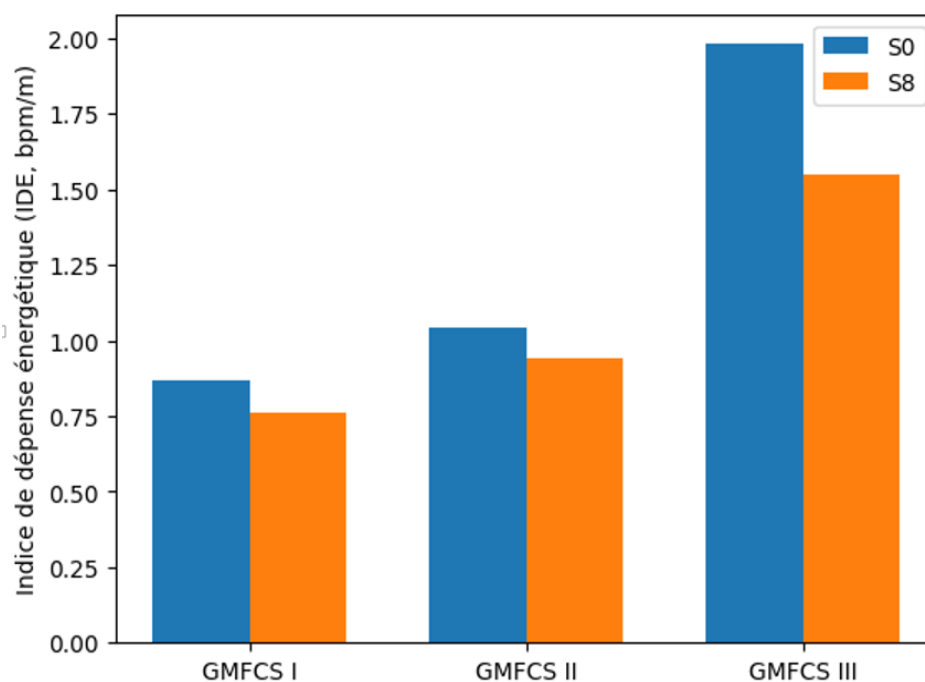


Figure 25 : Évolution de l'IDE entre S0 et S8 selon le niveau GMFCS.

Les valeurs moyennes d'IDE diminuaient après l'entraînement intensif à la marche dans l'ensemble des groupes GMFCS. La réduction est particulièrement marquée chez les enfants GMFCS III, qui présentent les valeurs initiales les plus élevées. Les enfants GMFCS I montrent une diminution plus modeste de l'IDE.

Tableau 69 : Effet du protocole sur l'IDE selon le GMFCS

GMFCS	<i>t</i> (ddl)	<i>P</i>	Hedges' <i>g</i>	IC 95 %	Interprétation
<i>I</i>	<i>t</i> (9) = 5,58	< 0,001(DS)	-1,59	[-2,56 ; -0,63]	Effet très important
<i>II</i>	<i>t</i> (20) = 3,34	0,003	-0,70	[-1,18 ; -0,22]	Effet modéré
<i>III</i>	<i>t</i> (11) = 3,52	0,005	-0,94	[-1,63 ; -0,25]	Effet important

L'analyse stratifiée selon le niveau GMFCS montrait une diminution significative de l'IDE entre S0 et S8 dans l'ensemble des groupes. Cette diminution était associée à un effet très important chez les enfants GMFCS I, tandis que des effets modérés à importants étaient observés chez les enfants GMFCS II et III.

Tableau 70 : Vitesse de marche rapide au 10MWT au cours du protocole

<i>Temps</i>	<i>Vitesse rapide (m/s) – Moy ± ET</i>
<i>Semaine 0</i>	<i>1,27 ± 0,44</i>
<i>Semaine 4</i>	<i>1,40 ± 0,48</i>
<i>Semaine 8</i>	<i>1,49 ± 0,50</i>

La vitesse de marche rapide augmentait progressivement entre S0 et S8, traduisant une amélioration globale de la performance maximale de marche au cours du protocole.

Tableau 71 : Évolution de la vitesse de marche rapide au 10 MWT au cours du protocole

<i>Comparaison</i>	<i>t (ddl = 42)</i>	<i>P</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>IC 95 %</i>
<i>S0 → S4</i>	<i>-7,17</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,07</i>	<i>[0,70 ; 1,45]</i>
<i>S4 → S8</i>	<i>-5,74</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>0,86</i>	<i>[0,51 ; 1,21]</i>
<i>S0 → S8</i>	<i>-10,76</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,61</i>	<i>[1,16 ; 2,07]</i>

La vitesse de marche rapide augmentait significativement dès la quatrième semaine et continuait de progresser jusqu'à la fin du protocole. Les tailles d'effet étaient importantes à chaque étape et devenaient très importantes sur l'ensemble de la période S0–S8.

Tableau 72 : Évolution de la vitesse de marche rapide au 10 MWT selon le niveau GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>Moy ± ET S0 (m/s)</i>	<i>Moy ± ET S4 (m/s)</i>	<i>Moy ± ET S8 (m/s)</i>	<i>t (ddl)</i>	<i>P</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>IC 95 %</i>
<i>I</i>	<i>1,80 ± 0,20</i>	<i>1,98 ± 0,25</i>	<i>2,07 ± 0,23</i>	<i>t(9) = -7,30</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>2,08</i>	<i>[0,94 ; 3,23]</i>
<i>II</i>	<i>1,29 ± 0,25</i>	<i>1,42 ± 0,27</i>	<i>1,51 ± 0,31</i>	<i>t(20) = -7,27</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,52</i>	<i>[0,89 ; 2,16]</i>
<i>III</i>	<i>0,80 ± 0,31</i>	<i>0,89 ± 0,31</i>	<i>0,97 ± 0,38</i>	<i>t(11) = -4,59</i>	<i>0,001</i>	<i>1,22</i>	<i>[0,46 ; 1,98]</i>

Les enfants GMFCS I présentaient les vitesses les plus élevées et la plus grande amplitude d'amélioration, tandis que des effets importants étaient également observés chez les enfants GMFCS II et III.

Tableau 73 : Évolution du ratio d'accélération fonctionnelle (vitesse rapide / vitesse confortable) selon le GMFCS

GMFCS	Ratio S0 (Moy ± ET)	Ratio S8 (Moy ± ET)	t (ddl)	P	Hedges' g	IC 95 %
I (n=10)	1,31 ± 0,12	1,36 ± 0,09	t(9) = -1,44	0,18	0,41	[-0,24 ; 1,06]
II (n=21)	1,47 ± 0,23	1,48 ± 0,25	t(20) = -0,20	0,84	0,04	[-0,39 ; 0,47]
III (n=12)	1,66 ± 0,44	1,43 ± 0,28	t(11) = 2,20	0,050	-0,59	[-1,20 ; 0,03]

Le ratio vitesse rapide/vitesse confortable, indicateur de la réserve fonctionnelle et de l'adaptabilité locomotrice, évoluait différemment selon le niveau GMFCS. Il restait globalement stable chez les enfants GMFCS I et II. En revanche, chez les enfants GMFCS III, le ratio diminuait entre S0 et S8.

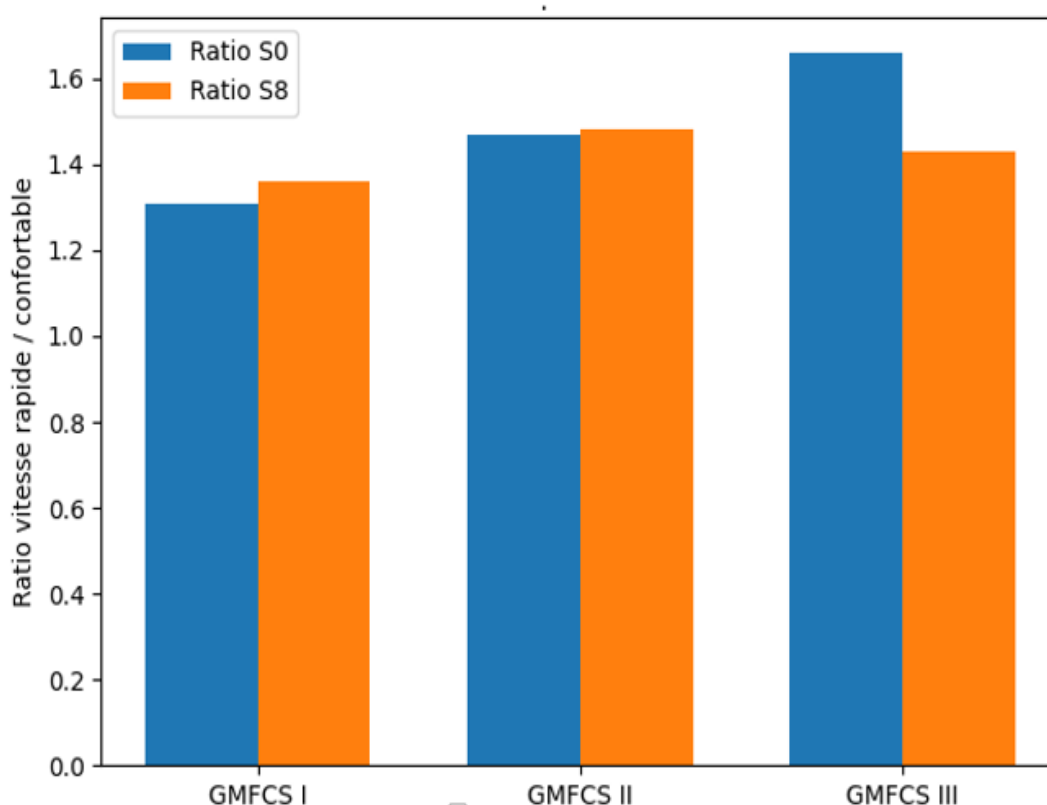


Figure 26 : Evolution du Ratio vitesse rapide/confortable selon le GMFCS

La stabilité de ce ratio chez les GMFCS I et II contraste avec sa diminution chez les GMFCS III.

Tableau 74 : Valeurs cibles de la fréquence cardiaque de réserve (65 % FCR) au cours du protocole selon le niveau GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>Moy ± ET de 65% FCR S0</i>	<i>Moy ± ET de 65% FCR S4</i>	<i>Moy ± ET de 65% FCR S8</i>	<i>Moy ± ET de 65% FCR Total général</i>
<i>I (n=10)</i>	<i>159,18 ± 3,10</i>	<i>158,62 ± 2,97</i>	<i>158,62 ± 2,70</i>	<i>158,80 ± 2,84</i>
<i>II (n=21)</i>	<i>161,05 ± 2,94</i>	<i>160,52 ± 2,49</i>	<i>160,50 ± 2,95</i>	<i>160,69 ± 2,77</i>
<i>III (n=12)</i>	<i>161,22 ± 2,77</i>	<i>161,04 ± 3,00</i>	<i>159,88 ± 2,37</i>	<i>160,71 ± 2,71</i>
<i>Total général</i>	<i>160,66 ± 2,98</i>	<i>160,22 ± 2,84</i>	<i>159,89 ± 2,78</i>	<i>160,26 ± 2,86</i>

Les valeurs correspondant à 65 % de la FC de réserve étaient comparables entre les groupes GMFCS et restaient stables au cours du protocole.

Tableau 75 : Vitesse moyenne du tapis roulant utilisée lors des séances d'entraînement selon le niveau GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>Moyenne de Vitesse Tapis (mph)</i>	<i>Vitesse tapis (km/h)</i>
<i>I</i>	<i>4,90</i>	<i>≈ 7,9 km/h</i>
<i>II</i>	<i>3,57</i>	<i>≈ 5,7 km/h</i>
<i>III</i>	<i>2,67</i>	<i>≈ 4,3 km/h</i>
<i>Total général</i>	<i>3,63</i>	<i>≈ 5,8 km/h</i>

La vitesse moyenne du tapis roulant diminuait progressivement avec l'augmentation du niveau GMFCS.

Tableau 76 : Score GMFM avant et après le protocole d'entraînement

<i>Temps</i>	<i>GMFM (Moy ± ET)</i>
<i>Avant protocole (S0)</i>	<i>43,26 ± 19,17</i>
<i>Après protocole (S8)</i>	<i>45,44 ± 18,28</i>
<i>Δ GMFM moyen</i>	<i>+2,19 points</i>

Le score GMFM augmentait entre le début et la fin du protocole, avec un gain moyen d'environ 2,2 points.

Tableau 77 : Évolution du score GMFM entre le début et la fin du protocole

<i>Comparaison</i>	<i>t (ddl = 42)</i>	<i>P</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>IC 95 %</i>
<i>GMFM S0 → S8</i>	<i>-8,26</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,24</i>	<i>[0,84 ; 1,64]</i>

Le score GMFM augmentait significativement entre S0 et S8, avec une taille d'effet importante.

Tableau 78 : Évolution du score GMFM avant et après le protocole selon le niveau GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>GMFM S0 (Moy ± ET)</i>	<i>GMFM S8 (Moy ± ET)</i>	<i>t (ddl)</i>	<i>P</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>IC 95 %</i>
<i>I</i>	<i>67,20 ± 3,22</i>	<i>67,50 ± 2,72</i>	<i>-1,41</i>	<i>0,19</i>	<i>0,40</i>	<i>[-0,25 ; 1,05]</i>
<i>II</i>	<i>45,00 ± 11,38</i>	<i>47,67 ± 10,69</i>	<i>-8,57</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,80</i>	<i>[1,09 ; 2,50]</i>
<i>III</i>	<i>20,25 ± 7,42</i>	<i>23,17 ± 8,34</i>	<i>-5,67</i>	<i>< 0,001(DS)</i>	<i>1,51</i>	<i>[0,66 ; 2,36]</i>

L'analyse stratifiée selon le GMFCS montrait une amélioration significative du score GMFM chez les enfants GMFCS II et III, associée à des tailles d'effet très importantes. En revanche, aucune amélioration significative n'était observée chez les enfants GMFCS I.

Tableau 79 : Évolution du score ABILOCO-KIDS entre S0 et S8 selon le niveau GMFCS

<i>GMFCS</i>	<i>ABILOCO S0 (Moy ± ET)</i>	<i>ABILOCO S8 (Moy ± ET)</i>	<i>Hedges' g</i>	<i>Interprétation</i>
<i>I</i>	<i>28,80 ± 2,15</i>	<i>28,90 ± 1,85</i>	<i>0,29</i>	<i>Effet faible</i>
<i>II</i>	<i>21,19 ± 4,19</i>	<i>21,67 ± 3,89</i>	<i>0,49</i>	<i>Effet faible à modéré</i>
<i>III</i>	<i>14,25 ± 2,49</i>	<i>14,50 ± 2,35</i>	<i>0,38</i>	<i>Effet faible</i>

L'analyse du score ABILOCO-Kids montre une légère augmentation des valeurs moyennes entre le début (S0) et la fin du protocole (S8) dans l'ensemble des groupes GMFCS. Toutefois, les tailles d'effet associées à ces variations restent faibles à modérées.

Tableau 80 : Corrélations entre distance parcourue, vitesse confortable et IDE avant (S0) et après (S8) le protocole

<i>Temps</i>	<i>Variables corrélées</i>	<i>R</i>
<i>S0</i>	<i>Distance ↔ Vitesse confortable</i>	<i>+1,00</i>
	<i>Distance ↔ IDE</i>	<i>-0,74</i>
	<i>Vitesse confortable ↔ IDE</i>	<i>-0,74</i>
<i>S8</i>	<i>Distance ↔ Vitesse confortable</i>	<i>+1,00</i>
	<i>Distance ↔ IDE</i>	<i>-0,71</i>
	<i>Vitesse confortable ↔ IDE</i>	<i>-0,71</i>

Une corrélation quasi parfaite était observée entre la distance parcourue et la vitesse de marche confortable, tant avant qu'après le protocole. En revanche, l'IDE était fortement et négativement corrélé à la distance et à la vitesse confortable aux deux temps d'évaluation.

Tableau 81 : Corrélations des changements entre distance parcourue et indice de dépense énergétique selon le GMFCS ($\Delta = S8 - S0$)

<i>GMFCS</i>	<i>R</i>	<i>P</i>
<i>I</i>	<i>0,50</i>	<i>0,14 (NS)</i>
<i>II</i>	<i>0,00</i>	<i>0,99 (NS)</i>
<i>III</i>	<i>-0,57</i>	<i>0,054 (tendance)</i>

L'analyse des corrélations des changements montrait des profils distincts selon le niveau GMFCS. Chez les enfants GMFCS III, une tendance à une corrélation négative était observée entre l'augmentation de la distance parcourue et la diminution de l'IDE. Cette relation n'était pas retrouvée chez les enfants GMFCS I et II.

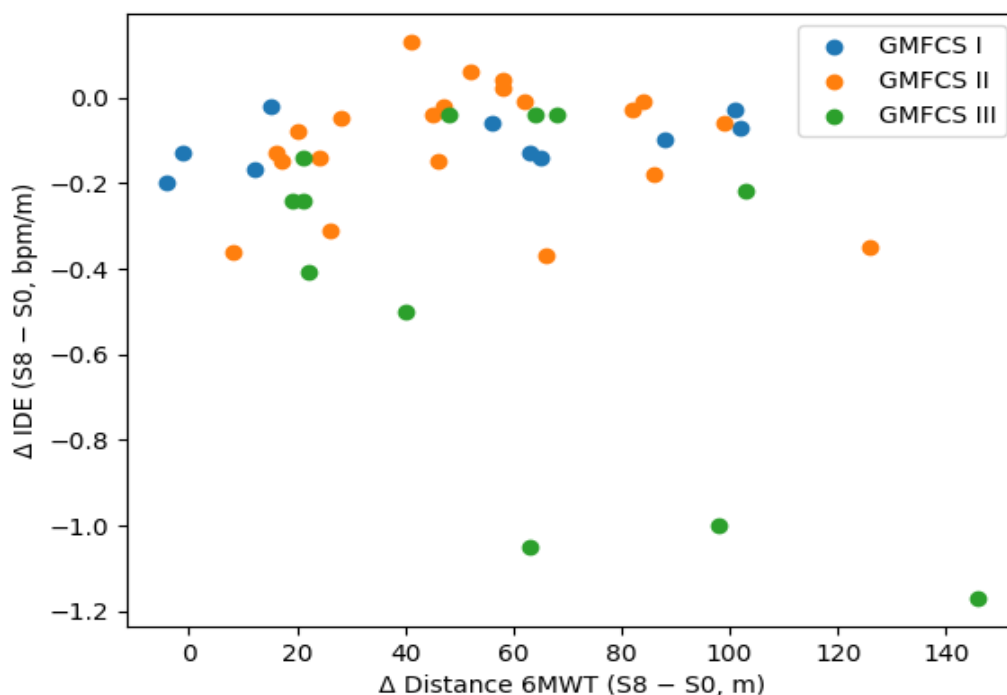


Figure 27 : Relation entre les changements de distance parcourue au 6MWT et de l'IDE ($\Delta = S8 - S0$), selon le niveau GMFCS

La figure illustre une variabilité interindividuelle importante des réponses à l'entraînement, avec des profils distincts selon le niveau GMFCS. Les enfants GMFCS III présentent des variations plus larges du Δ IDE, tandis que les GMFCS I et II montrent des changements plus regroupés autour de valeurs modérées.

Tableau 82 : Corrélations entre les changements des paramètres fonctionnels et locomoteurs ($\Delta = S8 - S0$)

Corrélation	R	p
$\Delta GMFM \leftrightarrow \Delta Distance$	0,04	0,80
$\Delta GMFM \leftrightarrow \Delta IDE$	-0,18	0,24
$\Delta ABILOCO \leftrightarrow \Delta Distance$	-0,01	0,95

Aucune corrélation linéaire significative n'était observée entre les variations des scores fonctionnels (GMFM, ABILOCO) et les changements des paramètres de marche, suggérant que les améliorations fonctionnelles et locomotrices ne progressaient pas de manière strictement proportionnelle.

9 DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'impact d'un protocole d'entraînement intensif à la marche sur tapis roulant chez des enfants atteints de PC ambulatoires, en s'appuyant volontairement sur un dispositif simple, reproductible et cliniquement accessible, tant dans la conception de l'intervention que dans le choix des outils d'évaluation.

Contrairement à certaines approches reposant sur des dispositifs instrumentés complexes ou des environnements hautement spécialisés, le protocole proposé privilégiait un entraînement sans support de poids corporel, réalisable en pratique courante, avec une intensité d'effort calculé à 65% de la FCR, afin de maximiser la répétition de la tâche locomotrice dans des conditions proches de la marche fonctionnelle.

Un élément clé de l'interprétation des résultats réside précisément dans cette densité d'entraînement, combinant une durée totale relativement courte à une fréquence hebdomadaire élevée. Dans la littérature, de nombreux protocoles d'entraînement à la marche chez l'enfant atteint de PC reposent sur des fréquences plus faibles, le plus souvent comprises entre deux et trois séances par semaine, pour des durées comparables, voire plus longues. Or, plusieurs travaux de synthèse et recommandations internationales soulignent que la fréquence des séances constitue un déterminant majeur de l'efficacité des interventions locomotrices, en favorisant les mécanismes d'apprentissage moteur, d'adaptation neuromusculaire et d'optimisation du schéma de marche.

Dans le même esprit, les critères de jugement retenus reposaient sur des outils d'évaluations cliniquement validés, largement utilisés en rééducation pédiatrique, et reconnus pour leur sensibilité au changement chez l'enfant atteint de PC ambulateur. La distance parcourue au 6MWT, la vitesse de marche confortable et rapide, l'IDE, la dimension E du GMFM et le score ABILOCO-Kids permettent une lecture complémentaire des performances locomotrices sans recourir à des outils coûteux ou difficilement transférables en routine clinique.

Ce choix méthodologique s'inscrit dans une démarche pragmatique visant à évaluer des effets cliniquement pertinents, directement interprétables pour la prise en charge quotidienne des enfants atteints de PC. Il permet également d'examiner la cohérence interne des adaptations induites par l'entraînement, en croisant des mesures de performance, d'efficacité et de fonctionnement global.

La discussion qui suit s'attachera ainsi à analyser les résultats obtenus à la lumière de ce double parti pris, simplicité du protocole et robustesse des outils d'évaluation, en les confrontant de manière systématique aux données de la littérature, tout en mettant en évidence les apports spécifiques de l'entraînement intensif à la marche proposé dans cette étude.

9.1 Concernant les données sociodémographiques

Dans cette étude, l'échantillon comprend 43 enfants atteints de PC, avec une prédominance masculine (60,5 % de garçons ; ratio G/F = 1,5). Cette distribution est classiquement rapportée dans l'épidémiologie de la PC, où une surreprésentation des garçons est fréquemment observée dans les registres et méta-analyses de prévalence de Oskoui et al. puis de McIntyre et al., suggérant une vulnérabilité accrue du sexe masculin aux atteintes neurologiques ; cette susceptibilité pourrait s'expliquer par des différences de maturation cérébrale, de réponse inflammatoire et de facteurs hormonaux et génétiques influençant la neuroprotection en période périnatale [1, 27].

Sur le plan du contexte de vie, la majorité des patients résidaient en milieu rural (60,5 %), et provenaient principalement de la wilaya d'Annaba (44,2 %), ce qui reflète probablement le recrutement territorial et l'accessibilité au centre de soins plutôt qu'une distribution « naturelle » de la PC. Ce point est important à discuter car les conditions socio-environnementales et l'accès aux soins influencent fortement l'intensité et la continuité des programmes de réadaptation, ce qui peut ensuite impacter les résultats fonctionnels [55, 196].

L'analyse de l'organisation familiale met en évidence un rôle central du père comme tuteur légal dans la majorité des cas (90,7 %). Toutefois, la prise en charge quotidienne repose quasi exclusivement sur la mère, identifiée comme aidante principale dans 93 % des situations, avec une absence d'aidant secondaire dans plus des trois quarts des cas

(76,7 %). Cette configuration traduit une charge de soins fortement concentrée sur un seul aidant, le plus souvent la mère.

Dans le contexte de notre protocole, qui impliquait une hospitalisation continue de huit semaines et nécessitait fréquemment la présence d'un accompagnant, cette réalité familiale a constitué un facteur organisationnel majeur. Plusieurs mères ont dû concilier la prise en charge de l'enfant atteint de PC avec les obligations familiales, notamment la gestion d'une fratrie scolarisée. Ce constat explique en partie la forte attractivité des périodes de vacances scolaires, en particulier estivales, pour l'adhésion au programme et souligne l'importance d'adapter les modalités de réadaptation aux contraintes réelles des familles [195, 196].

Sur le plan socio-économique, bien que 83,7 % des enfants bénéficiaient d'une couverture par une assurance maladie, l'analyse des professions parentales met en évidence une situation de vulnérabilité sociale. En effet, près de 40 % des pères étaient sans emploi ou exerçaient une activité journalière, tandis que 90,7 % des mères étaient sans activité professionnelle. Cette précarité est susceptible d'influencer l'accès aux soins spécialisés, l'équipement en aides techniques, les possibilités de transport et, plus largement, la participation effective à une prise en charge multidisciplinaire conforme aux recommandations internationales [176, 196].

Dans ce contexte, le dispositif de solidarité nationale, notamment via la Direction de l'Action Sociale (DAS), joue un rôle essentiel en Algérie. Il permet, en l'absence de couverture par la CNAS ou la CASNOS, d'assurer une prise en charge partielle ou totale des soins pour les enfants atteints de PC. Ce soutien institutionnel constitue un levier déterminant pour l'accès aux soins, mais ne compense pas entièrement les contraintes logistiques et sociales rencontrées par les familles.

Enfin, la majorité des enfants de notre échantillon étaient scolarisés (81,4 %), ce qui représente un indicateur encourageant de participation sociale. Toutefois, la présence fréquente de retards scolaires, puisque 13 sur 26 enfants scolarisés accusaient un retard d'au moins une classe, en rapport vraisemblablement avec des troubles cognitifs ou de communication associés [61, 122].

9.2 Concernant les résultats étiologiques

Les résultats étiologiques observés dans notre population s'inscrivent de manière cohérente dans le modèle multifactoriel contemporain de la PC décrit dans la littérature, qui a progressivement remplacé les conceptions monofactorielles historiques attribuant la PC principalement à l'asphyxie périnatale (Little) ou, à l'inverse, exclusivement à une anomalie du développement intra-utérin (Freud) [14, 16, 29]. Dans notre série, une proportion importante d'enfants présente des facteurs de risque répartis sur les périodes prénatale, périnatale et postnatale, confirmant que la PC résulte le plus souvent d'une combinaison de vulnérabilités plutôt que d'un événement isolé [32, 33].

9.2.1 Facteurs prénataux

Les facteurs prénataux identifiés dans notre population étaient peu fréquents lorsqu'ils étaient considérés isolément, avec notamment une proportion limitée d'infections maternelles pendant la grossesse (4,7 %) et de grossesses gémellaires (7,0 %). Ces taux sont inférieurs à ceux rapportés dans plusieurs études issues de PRFI, où les infections maternelles et périnatales demeurent des contributeurs majeurs à la PC, avec des fréquences pouvant dépasser 15 à 21 % acquise [32, 35].

À l'inverse, dans les HIC, les registres contemporains rapportent également des taux relativement faibles d'infections maternelles documentées, souvent inférieurs à 5 %, ce qui rapproche nos résultats de ceux observés dans les cohortes européennes et australiennes [1, 26]. Cette similitude peut refléter une amélioration globale de la prévention et de la prise en charge obstétricale, mais également une sous-déclaration rétrospective des infections prénatales, particulièrement lorsque les données reposent sur l'anamnèse maternelle sans documentation systématique dans les carnets de santé.

La consanguinité parentale, retrouvée chez 7,0 % des enfants, ainsi que la présence d'antécédents familiaux similaires dans 7,0 % des cas, constituent des éléments compatibles avec l'hypothèse génétique croissante dans la PC. Les études récentes de séquençage de l'exome et du génome suggèrent qu'une anomalie génétique identifiable pourrait être impliquée dans 10 à 30 % des cas de PC, en particulier chez les enfants sans prématurité ni événement périnatal majeur documenté [33, 36-39].

L'imagerie cérébrale, réalisée chez la majorité des enfants (IRM chez 88,4 %), montrait des anomalies compatibles avec une atteinte cérébrale dans près de 79 % des cas, tandis que 21,1 % des IRM étaient rapportées comme normales. Cette proportion d'IRM normales est comparable à celle décrite dans les registres des HIC, où 15 à 25 % des enfants atteints de PC présentent une imagerie cérébrale sans lésion structurale évidente [36, 40]. La présence d'une IRM normale constitue aujourd'hui un « drapeau rouge » évocateur d'une étiologie génétique ou neurodéveloppementale primaire, renforçant l'intérêt d'investigations génétiques ciblées lorsque le contexte clinique le suggère.

9.2.2 Facteurs périnataux

Les facteurs périnataux occupaient une place évidente dans notre série. La prématurité concernait 25,6 % des enfants, un taux très proche de ceux rapportés dans les registres de HIC, où la proportion d'enfants atteints de PC nés prématurément varie généralement entre 30 et 40 %, sans toutefois constituer la majorité des cas [1, 26].

La fréquence élevée de réanimation néonatale dans notre population (48,8 %) suggère une exposition fréquente à des situations de vulnérabilité périnatale. Dans les registres des HIC, la réanimation néonatale est rapportée dans environ 40 à 60 % des cas de PC, ce qui situe nos résultats dans une fourchette comparable [26, 43, 45]. En revanche, dans les PRFI, cette proportion est souvent plus élevée, reflétant des contextes obstétricaux et néonataux plus précaires [32, 35].

La souffrance à l'accouchement, rapportée chez près de la moitié des enfants (48,8 %), doit toutefois être interprétée avec prudence. De nombreuses études ont montré que les indicateurs cliniques de souffrance périnatale ou d'asphyxie aiguë ne suffisent pas à établir un lien causal direct avec la PC [32, 46]. Dans notre série, plus de la moitié des enfants présentaient un score d'Apgar normal à 5 minutes (51,2 %) et une large majorité un Apgar normal à 10 minutes (93 %). Ces observations soutiennent l'idée que l'asphyxie périnatale isolée n'est que rarement la cause unique de la PC, mais plutôt un facteur contributif ou révélateur d'une vulnérabilité cérébrale préexistante [33].

9.2.3 Facteurs postnataux

Les facteurs postnataux semblaient jouer un rôle limité dans notre population. Les infections néonatales sévères étaient peu représentées (13,9 %), aucun cas d'ictère nucléaire n'a été rapporté. Cette distribution contraste avec les données issues de nombreux PRFI, où les infections postnatales, les méningites et l'ictère nucléaire restent des causes majeures de PC acquise, parfois responsables de 30 à 50 % des cas [32, 35]. À l'inverse, nos résultats se rapprochent de ceux observés dans les HIC, où les étiologies postnatales sont devenues minoritaires grâce aux progrès de la prévention, de la vaccination et de la prise en charge néonatale [1, 26].

9.3 Concernant les résultats du développement neuromoteur

L'analyse des âges d'acquisition des grandes étapes du développement neuromoteur dans notre population met en évidence un retard global du développement moteur, avec une variabilité interindividuelle marquée, caractéristique de la PC.

L'âge moyen d'acquisition de la tenue de tête est de 6 mois (extrêmes : 3 à 24 mois). Bien que certains enfants acquièrent cette compétence dans des délais proches de la norme, la dispersion importante observée suggère une atteinte précoce du contrôle postural axial. La tenue de tête représente une étape fondamentale de l'organisation neuromotrice, son retard est classiquement décrit comme un marqueur précoce de dysfonction du système nerveux central et constitue l'un des premiers signes d'alerte dans la PC [30, 52, 55].

La station assise est acquise en moyenne à 11,5 mois, avec des extrêmes s'étendant jusqu'à 48 mois. Plusieurs travaux ont montré que la station assise nécessite une coordination fine entre la commande motrice, les ajustements posturaux anticipés et les afférences proprioceptives, fréquemment altérées chez les enfants atteints de PC [107, 109]. Le large étalement des âges d'acquisition observé dans notre population reflète l'hétérogénéité des atteintes cérébrales sous-jacentes.

L'acquisition du déplacement rampé ou à quatre pattes, observée chez 31 enfants, survient à un âge moyen de 14,5 mois, avec des valeurs allant jusqu'à 36 mois. Cette

étape, bien que non obligatoire dans le développement typique, revêt une importance particulière dans la PC, car elle traduit une capacité d'organisation motrice plus complexe impliquant dissociation des ceintures, alternance des membres et intégration sensorimotrice [113].

La marche autonome est acquise en moyenne à 28,4 mois, avec des extrêmes pouvant atteindre 72 mois. Ainsi, le fait que les enfants de notre étude aient acquis la marche, bien que tardivement, suggère que les fonctions motrices émergent progressivement sous l'effet conjoint de la maturation, de l'expérience motrice et de la rééducation [53, 113].

9.4 Concernant les résultats de l'imagerie cérébrale et EEG

Dans notre échantillon, l'imagerie cérébrale a été largement utilisée, avec une prédominance de l'IRM (88,4 % des patients), tandis que le scanner cérébral n'a été réalisé que chez une minorité d'enfants (9,3 %). Cette distribution reflète l'évolution des pratiques cliniques contemporaines, l'IRM étant reconnue comme l'examen de référence pour l'exploration des lésions cérébrales associées à la PC [57, 58].

Les résultats de l'IRM montrent une prédominance d'anomalies structurales (78,9 %), ce qui est cohérent avec les données de la littérature rapportant des anomalies détectables chez 70 à 90 % des enfants atteints de PC [57, 59]. Ces résultats s'inscrivent pleinement dans le cadre du MRI Classification System (MRICS) proposé par Himmelmann et al. qui constitue aujourd'hui une référence internationale pour la description standardisée des anomalies cérébrales dans la PC.

Selon cette classification, la majorité des anomalies observées dans notre population relèvent du groupe A : lésions prédominantes de la substance blanche, incluant la leucomalacie périventriculaire, les plages de démyélinisation juxta-ventriculaire et les anomalies du centre semi-oval. Ces lésions, largement représentées dans notre série, sont classiquement associées à une agression cérébrale survenant en période prénatale tardive ou périnatale, notamment chez les enfants nés prématurément ou exposés à des facteurs de vulnérabilité hypoxique ou inflammatoire. Himmelmann et al. rapportent

que ce type d'atteinte constitue le phénotype IRM le plus fréquent dans les registres européens de PC, ce qui conforte la représentativité de notre échantillon [59].

Par ailleurs, plusieurs enfants présentent des lésions focales unilatérales ou territoriales, telles que des infarctus sylviens, des cavités porencéphaliques ou des séquelles d'AVC ischémique périnatal. Ces tableaux correspondent au groupe B du MRICS (lésions cortico-sous-corticales focales), généralement liées à des événements vasculaires périnataux. La présence de ces lésions dans notre population est en accord avec les données de Himmelmann et al. qui soulignent que ce profil est fréquemment associé à une PC de type hémiplégique [59].

Un sous-groupe plus restreint d'enfant présente des malformations du développement cérébral, telles que la schizencéphalie, l'agénésie ou l'hypoplasie du corps calleux, ou encore des anomalies complexes associées à une hydrocéphalie. Ces anomalies s'intègrent dans le groupe C du MRICS, correspondant à des atteintes survenues très précocement au cours du développement embryonnaire. Leur présence, bien que minoritaire, est cliniquement importante, car Himmelmann et al. soulignent leur forte association avec des formes plus sévères de troubles moteurs et neuro-développementaux, ainsi qu'avec une probabilité accrue d'étiologie génétique sous-jacente [59].

Toutefois, la présence d'IRM normales dans 21,1 % des cas constitue un élément majeur de discussion. Comme souligné dans plusieurs travaux récents tel que Basu en 2025 ou encore Xu en 2024, qui stipule qu'une IRM cérébrale normale ne permet pas d'exclure le diagnostic de PC, mais oriente vers des mécanismes étiologiques différents, notamment génétiques [36, 40, 49]. Cette proportion est comparable à celle rapportée dans les grandes séries internationales, où l'absence d'anomalies à l'imagerie est décrite chez environ 10 à 30 % des patients [49]. Cette observation est concordante avec les recommandations du MRICS, qui rappellent qu'une IRM normale constitue même un signal d'alerte pour une origine génétique, en particulier chez les enfants nés à terme sans facteur de risque périnatal identifié.

Ainsi, la distribution des anomalies IRM observées dans notre étude est globalement superposable à celle décrite dans les cohortes internationales utilisant le MRICS. Cette

concordance renforce la validité externe de nos résultats et souligne l'intérêt du MRICS comme outil structurant pour relier les données d'imagerie aux mécanismes étiopathogéniques, aux trajectoires de développement neuromoteur et, potentiellement, au pronostic fonctionnel [32, 33].

L'EEG a été réalisé chez 23,3 % des enfants, principalement dans un contexte de suspicion clinique d'épilepsie. Parmi les EEG réalisés, des anomalies ont été retrouvées dans 77,8 % des cas, ce qui reflète une forte corrélation entre indication clinique et rendement diagnostique de l'examen. La prévalence de l'épilepsie dans notre série (30,2 %) est conforme aux taux rapportés dans la littérature, où l'épilepsie concerne environ 25 à 40 % des enfants atteints de PC, avec une fréquence plus élevée dans les formes associées à des lésions corticales étendues ou à des anomalies développementales [115]. La proportion élevée d'EEG pathologiques chez les enfants explorés souligne le lien étroit entre sévérité de l'atteinte cérébrale, comorbidités neurologiques et profil fonctionnel.

Il est important de noter que l'absence d'EEG systématique dans notre population limite toute interprétation exhaustive de la prévalence réelle des anomalies électrophysiologiques. Néanmoins, cette approche ciblée est cohérente avec les recommandations actuelles, qui préconisent la réalisation de l'EEG en fonction du contexte clinique plutôt qu'en dépistage systématique [115].

9.5 Concernant les données du bilan clinique et prise en charge en MPR

9.5.1 Fonction motrice et tableau clinique

La population étudiée est constituée exclusivement d'enfants ambulatoires, répartis entre les niveaux GMFCS I à III, avec une prédominance nette des niveaux GMFCS I et II (72 %). Ce profil est cohérent avec le choix méthodologique d'un protocole d'entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids, qui nécessite un socle minimal de capacités locomotrices préservées.

Cette répartition est comparable à celle rapportée dans plusieurs études interventionnelles portant sur l'entraînement à la marche chez l'enfant PC ambulant, où les niveaux GMFCS I-II sont majoritaires, et le GMFCS III reste représenté mais de manière minoritaire [6, 198, 199, 203].

La présence de près d'un tiers d'enfants GMFCS III confère à l'échantillon une hétérogénéité fonctionnelle pertinente, permettant d'explorer les effets de l'entraînement chez des profils plus sévèrement atteints tout en restant dans un cadre ambulatoire.

L'analyse du développement neuromoteur, à travers l'âge d'acquisition de la marche autonome, met en évidence une progression graduelle du retard moteur parallèlement à l'augmentation de la sévérité fonctionnelle.

Chez les enfants correspondant au niveau GMFCS I, l'acquisition de la marche survient de manière précoce et relativement homogène, le plus souvent avant 20 mois, telles que décrites dans les modèles développementaux de la marche chez l'enfant PC ambulant [96, 98, 100].

Le groupe GMFCS II, majoritaire dans notre échantillon, présente une grande variabilité interindividuelle, avec une acquisition de la marche généralement comprise entre 20 et 36 mois, mais parfois au-delà. Cette dispersion est largement rapportée dans la littérature et reflète l'influence combinée de la spasticité, du contrôle postural, de l'équilibre dynamique et des troubles associés [101, 103, 113].

Chez les enfants GMFCS III, l'acquisition de la marche est nettement retardée, souvent après 36 mois, avec plusieurs cas au-delà de 48 mois. Ces données sont cohérentes avec les trajectoires développementales décrites par Fiss et al. et par les registres internationaux, montrant que la marche reste possible mais tardive, énergétiquement coûteuse et souvent dépendante d'aides techniques [186, 192].

Dans notre population, les formes bilatérales prédominent (62,8 %), tandis que les hémiplégiés strictes représentent 37,2 % des cas. Cette distribution est conforme aux

données issues des registres européens et australiens, où les formes bilatérales restent les plus fréquentes parmi les enfants suivis [[1](#), [24](#), [26](#)].

Chez les enfants hémiplésiques, le symptôme neuromoteur prédominant était la spasticité, touchant majoritairement le membre inférieur. Cette prédominance est largement décrite dans les formes hémiplésiques spastiques, où l'atteinte distale du membre inférieur constitue un déterminant majeur des anomalies de la marche [[2](#), [64](#), [104](#)].

La rareté des formes dystoniques isolées dans notre échantillon est cohérente avec la moindre représentation de ces tableaux cliniques dans les populations ambulatoires recrutées pour des protocoles centrés sur la marche [[81](#), [85](#), [87](#)].

9.5.2 Troubles associés neurologiques, sensoriels et cognitifs

Les troubles associés observés dans notre étude confirment le caractère global et non purement moteur de la PC. L'épilepsie, présente chez 30,2 % des enfants, s'inscrit dans les taux classiquement rapportés chez les enfants PC ambulatoires, avec une fréquence accrue dans les formes bilatérales et dans les atteintes cérébrales étendues [[61](#), [115](#)]. Les troubles visuels (23,3 %) sont également conformes aux données de la littérature, notamment dans les atteintes de la substance blanche périventriculaire et les lésions post-ischémiques, fréquemment associées à des troubles de la vision fonctionnelle [[57](#), [58](#)].

Les troubles du langage (55,8 %) et cognitifs (60,5 %) observés dans notre population rejoignent les résultats des études populationnelles montrant que les limitations cognitives et communicationnelles concernent plus de la moitié des enfants PC, y compris chez les enfants ambulatoires [[56](#), [114](#), [116](#)].

9.5.3 Dispositifs orthétiques et aides techniques

Le recours important aux attelles suro-pédieuses de posture (81,4 %), d'attelles de marche rigide ou encore au chaussure orthopédiques (41,8 %) et talonnettes(18,6 %) reflète la fréquence des troubles d'alignement et des déséquilibres musculo-tendineux

au niveau de la cheville-pied, largement décrits comme déterminants majeurs des limitations de la marche chez l'enfant PC ambulant [53, 61, 105] .

Un quart des enfants utilisait un cadre de déambulation et un fauteuil roulant, malgré une marche acquise. Cette coexistence est largement décrite dans la littérature et reflète le caractère situationnel de la marche, dépendant de la distance, de la fatigabilité et de l'environnement, même chez les enfants classés ambulatoires [167, 168, 170].

9.5.4 Traitements médicamenteux et thérapeutiques anti spastiques

Dans notre cohorte, la prise en charge médicale est largement dominée par les interventions ciblant la spasticité, en particulier les injections de toxine botulique, administrées chez 86 % des enfants, avec un nombre médian de 2 à 3 injections. Ces données traduisent une stratégie thérapeutique conforme aux recommandations internationales actuelles, qui placent la toxine botulique de type A comme traitement de première ligne de la spasticité focale ou multifocale chez l'enfant atteint de PC ambulateur [76, 79, 105].

La fréquence élevée des injections observée dans notre population s'explique par plusieurs facteurs. D'une part, la majorité des enfants présentent des tableaux cliniques spastiques, souvent prédominants au membre inférieur, responsables de limitations fonctionnelles à la marche. D'autre part, la littérature souligne que les bénéfices de la toxine botulique sont transitoires, nécessitant des injections répétées, généralement espacées de 3 à 6 mois, dans le cadre d'une stratégie intégrée associant rééducation intensive et orthèses [76, 105].

Il est également notable que 14 % des enfants n'ont jamais reçu d'injection, ce qui peut refléter soit une spasticité jugée cliniquement peu importante, soit une prédominance d'autres composantes du trouble moteur (faiblesse, troubles du contrôle moteur sélectif), pour lesquelles la toxine botulique présente un bénéfice limité [64, 104].

Le plâtre de redressement, utilisé chez 39,5 % des enfants, reste nettement moins fréquent que les injections. Ce recours modéré est cohérent avec les recommandations actuelles, qui réservent le plâtre aux situations de rétractions musculo-tendineuses

débutantes ou en complément d'un traitement par toxine botulique afin de potentialiser le gain d'amplitude articulaire [75, 106].

Concernant le traitement antiépileptique, 30,2 % des enfants de notre échantillon en bénéficiaient, un taux comparable à ceux rapportés dans les études populationnelles chez les enfants PC ambulatoires. La coexistence d'une épilepsie constitue un facteur susceptible d'influencer indirectement les performances motrices et la participation à la rééducation, notamment par ses effets sur la vigilance, la fatigabilité et l'apprentissage moteur [61, 115].

9.5.5 Prise en charge rééducative associée

La kinésithérapie constitue le pilier central de la prise en charge rééducative, avec 93 % des enfants suivis. Cette quasi-universalité est conforme aux données de la littérature, qui placent la rééducation motrice régulière comme élément fondamental de la prise en charge de la PC, quel que soit le niveau fonctionnel [62, 113, 196].

La proportion importante d'enfants bénéficiant d'une ergothérapie (48,8 %) qui joue également un rôle clé dans l'adaptation de l'environnement, la prescription des aides techniques et l'optimisation de la participation [62, 122].

L'orthophonie, réalisée chez 25,6 % des enfants, est moins fréquente mais reste cohérente avec la prévalence des troubles du langage et de la communication observés dans notre population. Le recours à l'orthophonie est souvent conditionné par la sévérité du trouble, les ressources disponibles et l'accessibilité aux soins spécialisés [116, 131].

L'ensemble de ces données témoigne d'une prise en charge multidisciplinaire, conforme aux recommandations internationales actuelles, qui insistent sur la nécessité d'associer interventions motrices, cognitives et communicationnelles pour optimiser les résultats fonctionnels [196, 213].

9.5.6 Interventions chirurgicales orthopédiques

Dans notre cohorte, 23,3 % des enfants avaient déjà bénéficié d'une intervention chirurgicale orthopédique, tandis que 76,7 % n'avaient pas encore été opérés au moment de l'étude.

Ce taux relativement modéré est attendu dans une population majoritairement ambulatoire, comprenant une forte proportion d'enfants GMFCS I et II, chez lesquels la chirurgie est souvent différée ou évitée au profit de stratégies conservatrices ; les interventions rapportées incluent principalement des allongements tendineux, des aponévrotomies et une chirurgie multisite [61, 103].

9.6 Concernant les résultats du protocole de l'entraînement

9.6.1 Réponse cardiovasculaire à l'entraînement

L'augmentation significative de la FC observée après le 6MWT dans l'ensemble des groupes GMFCS confirme le caractère sous-maximal mais physiologiquement exigeant de ce test chez l'enfant atteint de PC. La marche, même à vitesse confortable, représente chez ces enfants une activité à fort coût cardiovasculaire, en lien avec les altérations neuromusculaires, biomécaniques et énergétiques propres à la PC.

Dans notre population, les valeurs de FC post-effort étaient plus élevées chez les enfants GMFCS I ($165,3 \pm 9,2$ bpm) que chez les GMFCS II ($155,0 \pm 7,9$ bpm) et III ($152,8 \pm 10,7$ bpm), traduisant une capacité à soutenir une intensité locomotrice plus importante, cohérente avec leur meilleur niveau fonctionnel. Cette observation est en accord avec les travaux de Dallmeijer et Brehm, qui ont montré que, pour une marche confortable, les enfants atteints de PC présentent une élévation plus marquée de la FC que les enfants typiquement développés, reflétant une sollicitation cardiovasculaire accrue pour une tâche fonctionnelle comparable [3].

L'analyse du ΔFC (FC après effort – FC au repos) met en évidence un gradient inverse clair selon la sévérité fonctionnelle, avec un ΔFC moyen de 71,4 bpm chez les GMFCS I, contre 53,8 bpm chez les GMFCS II et 51,3 bpm chez les GMFCS III. Ce profil a déjà été décrit comme un indicateur indirect de la réserve fonctionnelle cardiorespiratoire et de

la capacité d'adaptation à l'effort chez l'enfant PC ambulateur. Chez les enfants présentant une atteinte motrice plus sévère, la limitation de l'augmentation de la FC pourrait refléter une combinaison de facteurs, incluant une moindre capacité locomotrice, une vitesse de marche plus faible et une fatigabilité précoce [146].

L'évolution temporelle du ΔFC au cours du protocole est particulièrement informative. L'augmentation modérée observée à la quatrième semaine, suivie d'une stabilisation, voire d'une légère diminution à la huitième semaine, notamment chez les enfants GMFCS I, suggère une adaptation cardiovasculaire à l'entraînement. Ce phénomène est classiquement interprété comme une amélioration de l'efficacité cardiorespiratoire, avec une réponse cardiaque plus économique pour une charge de travail équivalente. Des adaptations similaires ont été rapportées dans les études portant sur la capacité aérobie et le coût physiologique de la marche chez les enfants et adolescents atteints de PC, où l'entraînement est associé à une réduction de la contrainte cardiovasculaire pour une tâche fonctionnelle donnée [145, 146, 167].

Cette cinétique du ΔFC doit également être interprétée à la lumière des modifications concomitantes des paramètres locomoteurs observées dans notre étude. L'augmentation de la distance parcourue et de la vitesse de marche, associée à une stabilisation, voire une diminution du ΔFC en fin de protocole, suggère que les enfants étaient capables de produire une performance locomotrice supérieure sans augmentation proportionnelle de la réponse cardiaque. Des observations similaires ont été rapportées par Verschuren et al. ainsi que Dallmeijer et Brehm, qui soulignent que chez l'enfant atteint de PC, les adaptations à l'entraînement se manifestent davantage par une réduction du coût physiologique relatif de la marche que par une augmentation franche de la capacité aérobie maximale, en particulier lors de tâches fonctionnelles sous-maximales comme le 6MWT.

9.6.2 Endurance à la marche

9.6.2.1 Niveau initial de la distance parcourue et gradient GMFCS

Dans notre étude, la distance parcourue au test de marche de six minutes à l'inclusion présentait un gradient net selon le niveau GMFCS, avec des distances moyennes de 497

m chez les enfants GMFCS I, 324 m chez les GMFCS II et 187 m chez les GMFCS III. Ce profil est strictement conforme aux données de référence issues des cohortes longitudinales, notamment celles de Fiss et al., Nsenga et al. et Thompson et al., qui montrent que la performance au 6MWT diminue proportionnellement à la sévérité fonctionnelle, indépendamment de l'âge chronologique [184-186].

Les valeurs observées dans notre population se situent dans les plages attendues pour des enfants PC ambulatoires, mais avec une dispersion particulièrement large chez les GMFCS III, traduisant l'hétérogénéité fonctionnelle bien décrite dans ce sous-groupe et soulignant l'intérêt d'analyses stratifiées.

9.6.2.2 Effet global de l'entraînement sur l'endurance

Sur l'ensemble de la population, la distance parcourue augmentait en moyenne de +53,5 m entre S0 et S8, avec des tailles d'effet importantes à très importantes (Hedges' g de 1,10 à 1,63 selon le GMFCS).

Ces gains sont au moins équivalents, et souvent supérieurs, à ceux rapportés dans les méta-analyses de référence :

- Moreau et al. rapportent des gains moyens compris entre +20 et +40 m, avec des tailles d'effet modérées à importantes [6].
- Qian et al., dans leur méta-analyse en réseau, montrent que les protocoles d'entraînement à la marche induisent des gains significatifs sur le 6MWT, mais avec une forte variabilité selon le type de dispositif utilisé [7].

Les résultats de notre étude se situent dans la borne haute des effets rapportés, suggérant un effet robuste du protocole.

9.6.2.3 Profils de réponse différenciés selon le GMFCS

- **GMFCS I** : Les enfants GMFCS I présentaient un gain moyen de +49,7 m (+10 %), avec une amélioration principalement observée entre S0 et S4. Ce profil est compatible avec un effet plafond, déjà décrit par Chrysagis et al. et Willoughby et al., chez des enfants présentant des performances initiales élevées [198, 200].

- **GMFCS II** : Les enfants GMFCS II montraient un gain moyen de +52,0 m (+16 %), avec une progression plus étalée dans le temps. Ce groupe apparaît comme celui présentant la meilleure plasticité locomotrice, ce qui est cohérent avec les travaux de Grecco et al. et Damiano et al., qui identifient les GMFCS II comme les meilleurs répondeurs aux programmes d'entraînement locomoteur [199, 206].
- **GMFCS III** : Chez les enfants GMFCS III, le gain absolu était le plus élevé (+59,4 m) et surtout le gain relatif atteignait +31,8 %, malgré des distances absolues plus faibles.

Ce résultat est particulièrement important, car il confirme que les enfants les plus sévèrement atteints peuvent tirer un bénéfice substantiel d'un entraînement intensif à la marche, en accord avec les observations de Grecco, Chrysagis et Mutlu [199, 200, 207].

9.6.2.4 Cinétique temporelle des gains

L'analyse des variations intermédiaires montre des profils temporels distincts :

- **GMFCS I** : amélioration essentiellement précoce (S0 → S4),
- **GMFCS II et III** : amélioration plus progressive, avec des gains tardifs marqués (S4 → S8).

Ce schéma est cohérent avec les mécanismes d'adaptation décrits dans la littérature :

- adaptations rapides chez les enfants les plus fonctionnels,
- adaptations plus lentes mais continues chez les enfants plus sévèrement atteints, nécessitant un temps d'exposition suffisant à la tâche locomotrice.

9.6.2.5 Distance manquante par rapport aux enfants typiques :

Un apport original de notre étude réside dans l'analyse de la distance manquante par rapport aux normes de marche chez l'enfant typique.

- À l'inclusion, l'écart moyen à la norme était de $253,7 \pm 122,5$ m, traduisant un déficit fonctionnel majeur.
- Après le protocole, cet écart diminuait à $202,3 \pm 123,9$ m, soit une réduction absolue de 51,4 m, correspondant à une amélioration relative d'environ 20 %.

Cette approche permet de dépasser la simple description des gains bruts et de raisonner en termes de rattrapage du déficit initial, ce qui est particulièrement pertinent en réadaptation pédiatrique.

L'analyse stratifiée montrait une réduction significative de la distance manquante dans tous les groupes GMFCS, avec des tailles d'effet importantes à très importantes, particulièrement marquées chez les enfants GMFCS II et III. Ces résultats indiquent une réduction cliniquement pertinente de l'écart de performance, même chez les enfants les plus sévèrement atteints.

9.6.2.6 Relation entre endurance et type d'entraînement

Notre protocole reposait sur un entraînement sur tapis roulant sans support de poids corporel, ce qui mérite une discussion spécifique.

- Les protocoles avec support de poids (BWSTT), tels que ceux décrits par Dodd et al., Mutlu et al., Damiano et al. ou Alotaibi et al., montrent des bénéfices intéressants chez les enfants plus sévèrement atteints, mais avec des transferts parfois limités vers la marche en terrain libre [203, 206, 207, 209].
- À l'inverse, les protocoles sans support de poids décrit par Grecco et al., Chrysagis et al. et Willoughby et al. rapportent des gains plus directs sur la distance et la vitesse mesurées au 6MWT, suggérant une meilleure validité écologique.

Les gains importants observés dans notre étude, y compris chez les enfants GMFCS III, soutiennent l'hypothèse que l'absence de support de poids favorise une sollicitation neuromusculaire plus proche des conditions réelles, facilitant le transfert vers la marche fonctionnelle.

9.6.3 Vitesse de marche et accélération

9.6.3.1 Niveau initial de vitesse et gradient GMFCS

Dans notre étude, les vitesses de marche mesurées au 6MWT à l'inclusion présentaient un gradient net et attendu selon le niveau fonctionnel GMFCS. Les enfants GMFCS I marchaient à une vitesse moyenne de $82,8 \pm 9,6$ m/min, contre $54,0 \pm 12,6$ m/min chez

les GMFCS II et $31,2 \pm 15,6$ m/min chez les GMFCS III. Ce profil est parfaitement cohérent avec les trajectoires décrites dans la littérature, notamment dans les grandes cohortes observationnelles montrant une diminution progressive de la vitesse de marche avec l'augmentation de la sévérité fonctionnelle, indépendamment de l'âge chronologique.

Les valeurs observées dans notre population se situent dans les plages rapportées par Davids et al., qui décrivent des vitesses confortables moyennes d'environ 1,03 m/s (≈ 62 m/min) chez les GMFCS I, 0,87 m/s (≈ 52 m/min) chez les GMFCS II et 0,72 m/s (≈ 43 m/min) chez les GMFCS III. Il est toutefois notable que nos patients GMFCS I présentent des vitesses initiales supérieures à ces valeurs de référence, traduisant un bon niveau fonctionnel de départ, tandis que la dispersion particulièrement large observée chez les GMFCS III souligne l'hétérogénéité fonctionnelle marquée de ce sous-groupe, souvent peu explorée dans les études interventionnelles [169].

9.6.3.2 Effet global de l'entraînement sur la vitesse confortable

Sur l'ensemble de la population, la vitesse de marche au 6MWT augmentait de manière précoce, progressive et hautement significative au cours du protocole d'entraînement intensif. L'augmentation globale atteignait +8,4 à +9,6 m/min selon les groupes GMFCS, correspondant à un gain compris entre +0,14 et +0,16 m/s. Ces valeurs dépassent nettement le seuil de changement cliniquement significatif généralement admis dans la littérature pédiatrique ($\approx 0,10$ m/s), validé notamment par Oeffinger et al. et confirmé plus récemment par Volpini et al. [171, 173].

Les tailles d'effet observées dans notre étude (g compris entre 1,06 et 1,49) se situent dans la borne haute, voire au-delà, de celles rapportées dans les méta-analyses de référence sur l'entraînement à la marche chez l'enfant PC. À titre de comparaison, Moreau et al. rapportaient des améliorations moyennes de vitesse comprises entre 0,05 et 0,10 m/s, avec des tailles d'effet modérées à importantes. Ces éléments suggèrent un effet robuste du protocole, tant sur le plan statistique que clinique [6].

9.6.3.3 Effet de l'entraînement sur la vitesse confortable selon le GMFCS

L'analyse par niveau GMFCS met en évidence des profils de réponse distincts mais un bénéfice transversal du protocole. Les enfants GMFCS I présentaient une amélioration significative de la vitesse, mais d'amplitude relative plus modérée, compatible avec un effet plafond chez des enfants déjà proches de vitesses fonctionnelles élevées. À

l'inverse, les enfants GMFCS II montraient la plus forte amplitude de réponse, avec des tailles d'effet très importantes, traduisant une plasticité locomotrice optimale dans ce groupe intermédiaire.

Les enfants GMFCS III bénéficiaient également de manière significative de l'entraînement, avec un gain relatif de vitesse supérieur à 30 %. Bien que les vitesses absolues restent inférieures à celles des groupes plus fonctionnels, cette amélioration est cliniquement majeure et rejoint les observations de Chrysagis et al. et Grecco et al., montrant que les enfants présentant une atteinte modérée à sévère peuvent tirer un bénéfice substantiel des protocoles de tapis roulant, même lorsque la normalisation complète de la marche n'est pas atteinte [199, 200].

9.6.3.4 Vitesse rapide et capacité d'accélération

Un apport original et majeur de notre étude réside dans l'analyse de la vitesse de marche rapide au 10MWT. La vitesse rapide augmentait de manière significative et progressive tout au long du protocole, passant de $1,27 \pm 0,44$ m/s à l'inclusion à $1,49 \pm 0,50$ m/s à huit semaines, soit un gain moyen de $+0,22$ m/s. Ce gain est plus du double du seuil de MCID décrit dans la littérature, conférant à ce résultat une forte signification fonctionnelle.

Sur le plan stratifié, les enfants GMFCS I atteignaient des vitesses rapides supérieures à 2,0 m/s en fin de protocole, dépassant les valeurs de vitesse rapide rapportées par Davids et al. ($\approx 1,46$ m/s). Les enfants GMFCS II présentaient des vitesses finales comparables aux vitesses rapides de référence, tandis que les enfants GMFCS III, bien que restant en-deçà des plafonds décrits, montraient des gains importants et cliniquement pertinents. Ces résultats confirment que le protocole améliore non seulement la marche fonctionnelle, mais aussi la réserve d'accélération, marqueur clé de l'adaptabilité locomotrice.

9.6.3.5 Ratio vitesse rapide / vitesse confortable

L'analyse du ratio vitesse rapide / vitesse confortable apporte un éclairage physiologique essentiel. Chez les enfants GMFCS I et II, ce ratio restait stable au cours du protocole, suggérant une capacité d'accélération déjà préservée à l'inclusion, avec une amélioration proportionnelle des deux composantes de la marche. En revanche,

chez les enfants GMFCS III, le ratio diminuait significativement, traduisant une amélioration préférentielle de la vitesse confortable.

Sur le plan clinique, cette évolution est particulièrement pertinente. Elle suggère que, chez les enfants les plus sévèrement atteints, l'entraînement agit prioritairement sur la stabilité, la régularité et l'efficacité de la marche quotidienne, plutôt que sur une augmentation de la vitesse maximale. Ce profil correspond étroitement au sous-groupe « GMFCS IIIa » décrit par Davids et al., caractérisé par une capacité d'adaptation locomotrice conservée malgré des plafonds de performance plus bas [169].

9.6.3.6 Gain de vitesse selon le type de l'entraînement et cohérence avec la littérature

Enfin, le choix d'un entraînement sur tapis roulant sans support de poids corporel mérite d'être souligné. Les études utilisant un support de poids montrent des bénéfices surtout chez les enfants plus sévèrement atteints, mais souvent avec un transfert limité vers la marche en terrain libre. À l'inverse, les protocoles sans support rapportent des gains plus directs sur la vitesse mesurée au 6MWT et au 10MWT. La méta-analyse en réseau de Qian suggère que, si le support de poids facilite l'initiation de la marche, les protocoles sans support sont plus efficaces pour améliorer la performance locomotrice réelle [7].

Les tailles d'effet élevées observées dans notre étude, tant pour la vitesse confortable que pour la vitesse rapide, soutiennent l'hypothèse que l'absence de support de poids favorise une sollicitation neuromusculaire plus écologique, permettant un meilleur transfert vers la marche fonctionnelle.

En résumé, notre étude montre que l'entraînement intensif à la marche améliore de manière significative et cliniquement pertinente la vitesse confortable, la vitesse rapide et la capacité d'accélération chez les enfants atteints de PC ambulatoire. Les gains observés dépassent les seuils cliniquement significatifs et se situent dans la borne haute, voire au-delà, des valeurs rapportées dans la littérature, y compris chez les enfants GMFCS III, population encore peu documentée. Ces résultats renforcent l'intérêt d'intégrer systématiquement des mesures de vitesse rapide et d'accélération dans l'évaluation des interventions locomotrices, afin de mieux appréhender le potentiel adaptatif et la transférabilité fonctionnelle des gains observés.

9.6.4 Indice de dépense énergétique et efficacité de la marche

9.6.4.1 Inefficacité locomotrice de notre échantillon

L'évolution temporelle de l'IDE au cours du protocole constitue un élément phare de nos résultats, mettant en évidence une amélioration progressive de l'efficacité de la marche. Ainsi, la diminution de l'IDE reflète une amélioration de l'économie locomotrice plutôt qu'une simple réduction de l'intensité de l'effort.

À l'inclusion, les valeurs moyennes d'IDE mettaient en évidence un gradient clair selon le GMFCS, avec des valeurs nettement plus élevées chez les enfants GMFCS III (1,98 bpm/m) que chez les GMFCS II (1,04 bpm/m) et GMFCS I (0,87 bpm/m). Ce profil traduit un coût énergétique de la marche proportionnel à la sévérité de l'atteinte motrice.

Ces résultats sont cohérents avec les travaux fondateurs de Rose et al., qui ont introduit l'IDE comme mesure indirecte du coût énergétique de la marche. Dès 1990, ces auteurs rapportaient que le coût énergétique de la marche chez les enfants atteints de PC était augmenté de 60 à 300 % par rapport aux enfants typiquement développés (IDE \approx 0,40–0,90 battements/mètre contre 0,18–0,25 chez les témoins), avec des valeurs croissantes en fonction de la sévérité des altérations motrices. Des résultats similaires ont été confirmés chez l'enfant et l'adulte dans les travaux de Waters et Mulroy, montrant que toute altération du schéma de marche s'accompagne d'une augmentation disproportionnée du coût énergétique [2, 4].

Les valeurs d'IDE observées dans notre population, en particulier chez les enfants GMFCS III, se situent dans la fourchette haute, voire au-delà, des valeurs décrites dans ces études, traduisant une inefficacité locomotrice marquée chez les enfants présentant une atteinte fonctionnelle plus sévère.

9.6.4.2 Évolution temporelle de l'indice de dépense énergétique et adaptation à l'entraînement

L'évolution temporelle de l'IDE sur l'ensemble de la population, diminuait significativement entre le début et la fin du protocole (S0 \rightarrow S8), avec une taille d'effet modérée (Hedges' $g = -0,68$). Cette diminution était particulièrement marquée entre la quatrième et la huitième semaine, suggérant un phénomène d'adaptation progressive à l'entraînement intensif à la marche.

Cette évolution est physiologiquement cohérente. L'IDE étant un indice rapportant la réponse cardiaque à la vitesse de déplacement, sa diminution signifie que les enfants étaient capables de marcher plus vite pour une augmentation relative moindre de la fréquence cardiaque. Autrement dit, le coût cardiovasculaire par mètre parcouru diminuait, traduisant une amélioration de l'économie de marche.

Ces observations rejoignent les résultats de Dallmeijer et Brehm, qui ont montré que la marche confortable chez les enfants PC ambulatoires est associée à une contrainte cardiovasculaire et énergétique élevée, mais modulable par des adaptations neuromusculaires et mécaniques, indépendamment d'une augmentation de la capacité aérobie maximale. De manière concordante, la méta-analyse récente de Wijnhoud et al. en 2024, souligne que les enfants atteints de PC présentent une efficacité de marche altérée par rapport aux pairs typiques, et que les interventions ciblant la marche peuvent améliorer l'économie locomotrice même sans modification majeure du VO₂max [3, 146].

9.6.4.3 Analyse stratifiée de l'IDE selon le GMFCS

L'analyse stratifiée selon le niveau fonctionnel apporte un éclairage clinique essentiel. Dans notre étude, la diminution de l'IDE était significative dans l'ensemble des groupes GMFCS, mais avec des amplitudes différentes :

GMFCS I : la réduction de l'IDE était particulièrement marquée (Hedges' $g = -1,59$), suggérant une optimisation importante du rendement locomoteur. Chez ces enfants, l'entraînement intensif permet une marche plus économique malgré des performances déjà élevées.

GMFCS II et III : les effets restaient significatifs mais d'ampleur plus modérée ($g = -0,70$ et $-0,94$ respectivement). Cette observation est cohérente avec les données de la littérature montrant que l'efficacité de la marche chez les enfants plus sévèrement atteints est fortement conditionnée par la faiblesse musculaire, les déformations musculo-squelettiques et les stratégies compensatoires. Les travaux de Mockford et Caulton, Kimoto et al. et Pouliot-Laforte et al. ont en effet souligné que l'amélioration de l'efficacité dans ces populations repose davantage sur une meilleure stabilité, une régularité accrue de la marche et une réduction des déséquilibres musculaires que sur une diminution absolue du coût énergétique [144, 147, 148].

Il est important de souligner que, chez les enfants GMFCS III, le coût énergétique initial très élevé confère une marge de progression importante. Ainsi, même des adaptations locomotrices modestes sur le plan de la vitesse absolue peuvent se traduire par une réduction cliniquement significative de l'IDE, reflétant une amélioration de l'efficacité de la marche ici chiffrée à – 22%.

L'ampleur du gain absolu et relatif de l'IDE, plus marquée chez les enfants GMFCS III, et la taille de l'effet statistique, plus élevée chez les enfants GMFCS I, ne sont pas contradictoires mais complémentaires. Les enfants GMFCS III, présentant un coût énergétique initial très élevé, disposent d'une marge de progression plus importante, tandis que la plus grande homogénéité des réponses chez les GMFCS I explique des tailles d'effet plus élevées malgré des gains absolus plus modestes. Cette double lecture clinique et statistique permet une interprétation fine et cohérente de l'amélioration de l'efficacité de la marche selon le niveau fonctionnel.

L'IDE utilisé dans notre étude constitue une mesure indirecte de l'efficacité de la marche, dérivée de la fréquence cardiaque et de la vitesse, selon l'approche initialement décrite par MacGregor. Bien que cette méthode ne remplace pas les mesures directes de consommation d'oxygène, elle reste largement utilisée en pratique clinique pédiatrique en raison de sa faisabilité, de sa bonne validité écologique et de sa pertinence fonctionnelle.

9.6.5 Intensité de l'entraînement et fréquence cardiaque de réserve

La stabilité des valeurs de 65 % de la FCR autour de 160 bpm dans les trois groupes GMFCS confirme que l'intensité d'entraînement prescrite correspondait à une zone d'effort modéré à vigoureux, reconnue comme optimale pour induire des adaptations cardiovasculaires chez l'enfant [152, 153]. L'homogénéité inter-groupes suggère que le protocole était équitablement stimulant, indépendamment du niveau fonctionnel, tout en restant sécurisé.

9.6.6 Capacités locomotrices évaluées par la dimension E du GMFM et performance de marche perçue (ABILOCO-Kids)

9.6.6.1 Effet global du protocole sur les capacités locomotrices (GMFM – E)

Dans notre étude, l'évaluation des capacités motrices s'est volontairement centrée sur la dimension E du GMFM, spécifiquement dédiée à la marche, à la course et au franchissement d'obstacles. Ce choix méthodologique visait à cibler de manière précise les adaptations locomotrices induites par un protocole d'entraînement intensif à la marche sur tapis roulant, sans prétendre évaluer la motricité globale au sens large.

Entre le début et la fin du protocole, le score moyen de la dimension E du GMFM augmentait de +2,19 points, avec une taille d'effet importante (Hedges' $g = 1,24$). Cette amélioration traduit un effet robuste du protocole sur les capacités locomotrices fonctionnelles, au-delà des seuls paramètres de performance (vitesse ou distance), en témoignant d'une meilleure réalisation des tâches motrices complexes liées à la marche.

Sur le plan méthodologique, ce résultat est particulièrement pertinent. La dimension E du GMFM est reconnue comme sensible aux changements dans les interventions ciblant la locomotion. Cette sensibilité spécifique de la dimension E a été rapportée dans plusieurs études d'entraînement à la marche chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale. Chrysagis et al. et Grecco et al. ont montré que les gains du GMFM après entraînement sur tapis roulant concernaient principalement les items liés à la marche autonome et à la progression locomotrice. De même, les revues de Willoughby et al. et de Damiano et al. soulignent que, lorsque des améliorations du GMFM sont observées, elles se manifestent prioritairement dans les tâches locomotrices, correspondant aux items de la dimension E [[198-200](#), [206](#)].

Ainsi, bien que les comparaisons directes avec les scores GMFM globaux ou GMFM-66 rapportés dans la littérature doivent être interprétées avec prudence, l'amplitude du changement observé dans notre étude se situe dans la borne haute des effets rapportés pour des interventions locomotrices intensives.

9.6.6.2 Analyse stratifiée de la réponse locomotrice selon le GMFCS

L'analyse stratifiée selon le niveau GMFCS met en évidence des profils de réponse très différenciés, confirmant que l'impact du protocole sur la dimension E du GMFM dépend étroitement du niveau fonctionnel initial.

GMFCS I : Chez les enfants GMFCS I, aucune amélioration significative du score de la dimension E n'était observée (Hedges' $g = 0,40$, non significatif). Ce résultat s'inscrit dans la continuité des données de la littérature décrivant un effet plafond du GMFM chez les enfants les plus fonctionnels. Ces enfants présentent généralement des scores élevés dès l'inclusion, limitant la capacité de l'échelle à détecter des gains supplémentaires, en particulier lorsque ceux-ci concernent des aspects fins de la performance locomotrice.

Dans ce groupe, les bénéfices du protocole se sont principalement exprimés sur des paramètres plus sensibles, tels que la vitesse de marche, la distance parcourue ou l'efficacité locomotrice, plutôt que sur la capacité à réaliser les items de la dimension E, déjà largement acquis traduisant un effet plafond locomoteur.

GMFCS II : Chez les enfants GMFCS II, la dimension E du GMFM augmentait de manière significative, avec une taille d'effet très importante (Hedges' $g = 1,80$). Ce groupe apparaît comme celui présentant la meilleure plasticité locomotrice, combinant des capacités motrices suffisantes pour exploiter l'entraînement intensif et une marge de progression encore importante sur le plan fonctionnel.

Ce profil est en parfaite cohérence avec les études d'entraînement à la marche rapportant que les enfants GMFCS II sont ceux qui tirent le bénéfice le plus marqué des protocoles locomoteurs, en particulier lorsque l'entraînement est réalisé sans support de poids corporel, favorisant un transfert plus direct vers les capacités fonctionnelles.

GMFCS III : Chez les enfants GMFCS III, une amélioration significative de la dimension E du GMFM était également observée, avec une taille d'effet très importante (Hedges' $g = 1,51$). Ce résultat est particulièrement notable, car les gains sur les échelles GMFM sont souvent plus difficiles à obtenir dans ce sous-groupe dans les études d'intervention.

L'amélioration observée suggère que l'entraînement intensif à la marche a permis des adaptations locomotrices globales, probablement médiées par une amélioration du contrôle postural dynamique, de la coordination intersegmentaire et de la capacité à enchaîner des pas de manière plus stable et plus efficace. Ces adaptations sont cohérentes avec les améliorations parallèles observées sur la distance, la vitesse et l'efficacité de la marche dans ce groupe.

9.6.6.3 Performance locomotrice perçue (ABILOCO-Kids)

L'évolution du score ABILOCO-Kids reproduit un profil strictement superposable à celui observé pour la dimension E du GMFM, avec une amélioration significative chez les enfants GMFCS II et III, et l'absence de changement significatif chez les enfants GMFCS I. Cette concordance renforce la validité convergente des résultats. Alors que la dimension E du GMFM évalue la capacité locomotrice observée en situation standardisée, l'ABILOCO-Kids reflète la performance locomotrice perçue dans les activités de la vie quotidienne. Le fait que les deux outils évoluent dans le même sens suggère que les gains mesurés ne se limitent pas à une amélioration en contexte de test, mais se traduisent par une utilisation fonctionnelle de la marche au quotidien.

Chez les enfants GMFCS II et III, l'amélioration de l'ABILOCO-Kids est cohérente avec l'augmentation de la distance parcourue, l'amélioration de la vitesse confortable et la diminution de l'IDE. Chez les enfants GMFCS III en particulier, cette évolution suggère une marche quotidienne plus stable et plus efficace, en accord avec la réduction observée du coût énergétique par mètre parcouru.

9.6.6.4 Mise en perspective avec la littérature

La majorité des études d'entraînement à la marche rapportent des scores GMFM globaux ou GMFM-66. Ces travaux décrivent généralement des gains modestes, souvent compris entre +1 et +3 points, principalement chez les enfants GMFCS II et III, avec une faible sensibilité au changement chez les GMFCS I.

Dans ce contexte, l'amélioration observée dans notre étude sur la dimension E uniquement s'inscrit pleinement dans les amplitudes rapportées par les études utilisant un GMFM global, tout en offrant une lecture plus spécifique des adaptations

locomotrices. Les études utilisant un entraînement sans support de poids corporel rapportent en particulier des gains plus marqués sur les dimensions liées à la marche, ce qui est cohérent avec nos résultats.

Il est toutefois important de souligner que la comparaison avec la littérature doit se faire sur le profil de réponse fonctionnelle et la cohérence des adaptations observées, plutôt que sur une comparaison stricte des valeurs absolues, compte tenu de la différence de méthode de cotation.

9.6.7 Analyse des corrélations entre paramètres locomoteurs, énergétiques et fonctionnels

9.6.7.1 Corrélation distance et vitesse confortable

La corrélation quasi parfaite observée entre la distance parcourue au 6MWT et la vitesse confortable, tant à l'inclusion qu'à la fin du protocole ($r = +1,00$), constitue un résultat attendu et méthodologiquement rassurant.

Cette relation découle directement de la nature même du 6MWT, où la distance correspond au produit de la vitesse moyenne par le temps.

Cette observation confirme la cohérence interne des données, l'absence d'erreur de mesure ou de biais systématique, et la bonne standardisation des conditions de test.

Des relations similaires ont été rapportées dans les études de Nsenga Leunkeu et al., Thompson et al., et Fiss et al., qui montrent toutes une relation quasi linéaire entre distance et vitesse confortable chez les enfants PC ambulants, indépendamment du niveau GMFCS. Ainsi, cette corrélation ne constitue pas un résultat interprétatif en soi, mais un pré-requis méthodologique validant la qualité des données [184-186].

9.6.7.2 Corrélation négative de l'IDE avec la distance et la vitesse

À l'inverse, la corrélation négative forte observée entre l'IDE et la distance ou la vitesse confortable, à la fois avant et après le protocole ($r \approx -0,70$ à $-0,74$), constitue un résultat physiologiquement et cliniquement important.

Ce résultat signifie que les enfants marchants plus vite et plus loin présentent un coût énergétique par mètre parcouru plus faible, et que l'amélioration de la performance locomotrice s'accompagne d'une meilleure économie de marche.

Cette relation est parfaitement cohérente avec les travaux fondateurs de Rose et al. 1990, qui ont montré que l'IDE est inversement lié à l'efficacité locomotrice, ainsi qu'avec les travaux de Waters et Mulroy, démontrant que toute altération du schéma de marche entraîne une augmentation disproportionnée du coût énergétique [2, 4].

Plus récemment, Dallmeijer et Brehm ont confirmé que chez les enfants PC ambulants, la contrainte cardiovasculaire de la marche est étroitement liée à la vitesse et à la régularité du déplacement, indépendamment de la capacité aérobie maximale [3].

La méta-analyse de Wijnhoud et al. renforce cette lecture en montrant que l'amélioration de l'économie de marche peut survenir sans modification significative du $VO_2\text{max}$, ce qui soutient l'interprétation de l'IDE comme marqueur fonctionnel de l'efficacité locomotrice [146].

Le maintien de cette corrélation après entraînement suggère que le protocole n'a pas modifié la structure de la relation performance-coût énergétique, mais a déplacé les enfants vers un fonctionnement plus efficace, ce qui est précisément l'objectif d'un entraînement locomoteur.

9.6.7.3 Corrélations des changements (Δ) et spécificité du profil GMFCS III

L'analyse des corrélations des changements entre distance et IDE met en évidence des profils distincts selon le niveau GMFCS.

Chez les enfants GMFCS III, la tendance à une corrélation négative entre l'augmentation de la distance et la diminution de l'IDE ($r = -0,57$, $p = 0,054$) est particulièrement intéressante, malgré l'absence de significativité statistique stricte.

Sur le plan interprétatif, cette tendance suggère que chez les enfants les plus sévèrement atteints, les gains de distance sont directement associés à une amélioration de l'efficacité de la marche.

Ce profil est cohérent avec les travaux de Mockford et Caulton, Kimoto et al. et Pouliot-Laforte et al., qui montrent que, chez les enfants PC plus sévèrement atteints, toute amélioration fonctionnelle s'accompagne d'une réduction des co-contractions, d'une meilleure stabilité et d'une marche plus régulière, entraînant une diminution du coût énergétique [144, 147, 148].

À l'inverse, l'absence de corrélation chez les GMFCS I et II est logique :

- GMFCS I, l'efficacité est déjà relativement préservée, et les gains de distance reposent davantage sur une augmentation de la vitesse que sur une réduction du coût énergétique,
- GMFCS II, les adaptations sont plus complexes et multifactorielle, mêlant gains de vitesse, d'endurance et de coordination, sans relation linéaire simple entre distance et IDE. Ainsi, l'absence de corrélation significative dans ces groupes ne traduit pas un échec, mais reflète des mécanismes d'adaptation différents selon la sévérité fonctionnelle.

9.6.7.4 Absence de corrélation entre changements locomoteurs et scores (GMFM, ABILOCO)

L'absence de corrélation linéaire significative entre les changements du GMFM ou de l'ABILOCO-Kids et les modifications de la distance ou de l'IDE constitue un résultat important et conceptuellement cohérent.

Cette dissociation suggère que les améliorations locomotrices (vitesse, distance, efficacité), et les améliorations fonctionnelles globales ou perçues, n'évoluent pas de manière strictement proportionnelle.

Ce constat est largement décrit dans la littérature. Oeffinger et al., ainsi que Damiano et al., ont montré que les échelles fonctionnelles globales captent des changements qualitatifs (coordination, stabilité, contrôle moteur), tandis que les tests de marche mesurent des performances quantitatives. De même, plusieurs travaux sur l'ABILOCO-Kids indiquent que la perception fonctionnelle intègre des dimensions contextuelles, environnementales et psychosociales, qui ne sont pas directement corrélées aux gains mesurés en laboratoire [171, 206].

Ainsi, l'absence de corrélation directe ne remet pas en cause la validité des résultats, mais souligne la complémentarité indispensable des outils d'évaluation, comme recommandé par Verschuren et al. et Novak et al. [176, 195].

L'analyse des corrélations montre que :

- les paramètres locomoteurs et énergétiques sont étroitement liés entre eux,
- l'IDE constitue un marqueur robuste de l'efficacité de la marche,
- les mécanismes d'adaptation diffèrent selon le niveau GMFCS

- et les gains fonctionnels globaux ne peuvent être réduits à une simple relation linéaire avec les performances de marche.

Ces résultats renforcent la solidité conceptuelle du protocole et confirment l'intérêt d'une approche multidimensionnelle pour évaluer l'impact réel des interventions d'entraînement à la marche chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale.

9.6.8 Rôle de l'intensité du protocole

Verschuren et al. insistent sur le fait que les adaptations fonctionnelles et locomotrices chez les enfants atteints de PC nécessitent un volume de pratique suffisant, en lien avec les principes de plasticité motrice dépendante de l'intensité et de la répétition de la tâche. Dans ce contexte, la répétition quasi quotidienne de la marche sur tapis roulant dans notre protocole a probablement favorisé des adaptations neuromusculaires, mécaniques et énergétiques plus marquées que celles observées dans des programmes moins intensifs.

Cette intensité pourrait expliquer les tailles d'effet élevées observées sur la distance, la vitesse, l'IDE et la dimension E du GMFM, y compris chez les enfants GMFCS III, population souvent décrite comme moins répondeuse aux interventions locomotrices. Ces résultats soutiennent l'hypothèse selon laquelle, chez l'enfant atteint de PC ambulateur, l'intensité de l'entraînement est au moins aussi déterminante que la durée totale du programme.

9.7 Limites de l'étude

Malgré l'intérêt clinique et scientifique des résultats obtenus, certaines limites doivent être prises en compte dans l'interprétation et la généralisation des données.

La première limite concerne la taille modérée de l'échantillon ($n = 43$), comparable à celle de nombreuses études interventionnelles pédiatriques en PC. Cette taille peut limiter la puissance statistique, en particulier lors des analyses de sous-groupes. Néanmoins, la relative homogénéité fonctionnelle de la population étudiée (enfants PC ambulants GMFCS I à III) renforce la cohérence interne des résultats, au prix d'une extrapolation prudente aux formes plus sévères de la maladie.

La seconde limite est liée à l'absence de groupe contrôle. Toutefois, le choix d'un schéma avant/après s'inscrit dans une démarche pragmatique fréquemment utilisée en rééducation, notamment lorsque des considérations éthiques rendent difficile l'absence

de prise en charge chez un groupe témoin. L'utilisation de mesures répétées et de tailles d'effet permet néanmoins d'apprécier l'ampleur des changements observés au cours du protocole.

Enfin, bien que l'étude repose sur des outils cliniques validés et largement utilisés (6MWT, 10MWT, IDE, GMFM, ABILOCO-KIDS), l'absence de mesures instrumentales de l'analyse de la marche limite l'exploration fine des mécanismes biomécaniques sous-jacents. Le recours à des outils instrumentés, plus coûteux et nécessitant des équipes spécialisées, pourrait enrichir l'interprétation des résultats dans de futures études.

Malgré ces limites, cette étude apporte des données originales et cliniquement pertinentes sur les effets d'un entraînement intensif à la marche chez des enfants atteints de PC ambulatoire, dans un contexte de prise en charge réaliste. Elle constitue une étude pilote solide, ouvrant la voie à des travaux futurs de plus grande envergure, intégrant des groupes comparatifs, des outils instrumentalisés et un suivi à long terme.

10 CONCLUSION

La PC demeure l'une des principales causes de handicap moteur de l'enfant, caractérisée par des limitations de l'activité et de la participation, en particulier dans le domaine de la marche. Chez les enfants classés GMFCS I à III, si la marche est acquise, elle reste souvent entravée par une diminution de l'endurance, une vitesse réduite, une efficacité énergétique altérée, contribuant à un désengagement progressif de l'activité physique et à un déconditionnement secondaire. Dans ce contexte, les recommandations internationales issues notamment de *Developmental Medicine & Child Neurology* et de *l'American Academy for Cerebral Palsy and Developmental Medicine* soulignent l'importance d'interventions intensives, orientées tâche et fondées sur des preuves, afin de préserver et d'optimiser les capacités locomotrices.

Le présent travail avait pour objectif principal d'évaluer l'apport d'un protocole d'entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel sur les capacités locomotrices d'enfants atteints de PC marchants (GMFCS I, II et III), pris en charge à l'EHS Seraïdi. À travers une analyse approfondie des paramètres physiologiques, locomoteurs et fonctionnels ; cette étude apporte des données originales dans un contexte où la littérature nationale reste limitée.

Les résultats montrent de manière cohérente et robuste que ce protocole permet une amélioration significative de la performance de marche, objectivée par l'augmentation de la distance parcourue au 6MWT et par l'augmentation de la vitesse de marche confortable et rapide. Les tailles d'effet observées, importantes à très importantes, confirment que les gains dépassent largement les seuils de changement cliniquement pertinents décrits dans la littérature. Ces améliorations sont observées dans l'ensemble de la population, avec des profils de réponse différenciés selon le niveau fonctionnel GMFCS.

L'analyse stratifiée met en évidence que les enfants GMFCS II et III tirent un bénéfice particulièrement marqué du protocole. Chez les enfants GMFCS III, malgré des performances initiales plus limitées, les gains proportionnels sur la distance, la vitesse et l'efficacité de la marche sont les plus importants, traduisant une plasticité locomotrice préservée et un potentiel d'adaptation fonctionnelle souvent sous-estimé

dans cette population. À l'inverse, chez les enfants GMFCS I, l'absence d'amélioration significative sur certaines échelles globales doit être interprétée comme un effet plafond, les bénéfices se manifestant principalement sur des paramètres plus fins de performance et d'efficacité.

L'un des apports majeurs de ce travail réside dans l'analyse de l'efficacité de la marche, à travers l'IDE. La diminution significative de l'IDE observée après l'entraînement indique que les enfants sont capables de marcher plus efficacement, avec un coût cardiovasculaire moindre par mètre parcouru. Cette amélioration de l'économie de marche est particulièrement pertinente sur le plan fonctionnel, car elle conditionne la fatigabilité, la capacité à maintenir une marche prolongée et, in fine, la participation aux activités de la vie quotidienne.

Les améliorations observées sur la dimension E du GMFM, spécifiquement ciblée dans cette étude, ainsi que sur le score ABILOCO-Kids, confirment que les gains ne se limitent pas à des performances de laboratoire, mais s'accompagnent d'une amélioration des capacités locomotrices et de la performance perçue dans le quotidien. La concordance entre les outils objectifs (distance, vitesse, IDE) et les échelles fonctionnelles renforce la validité interne du modèle d'intervention proposé.

Au-delà des résultats eux-mêmes, ce travail met en avant un choix méthodologique volontairement assumé : celui d'un protocole simple, intensif et écologiquement valide, ne nécessitant ni technologie complexe ni dispositifs coûteux. L'entraînement sur tapis roulant sans support de poids corporel permet une sollicitation neuromusculaire proche des conditions réelles de marche, favorisant un transfert fonctionnel vers la vie quotidienne. De même, le recours à des outils d'évaluation cliniques validés, reproductibles et facilement accessibles renforce la pertinence de ce protocole dans des contextes de soins variés, y compris à ressources limitées.

À partir des résultats obtenus et de leur confrontation aux données de la littérature internationale, plusieurs recommandations pratiques peuvent être formulées. Celles-ci ne se veulent ni normatives ni exhaustives, mais visent à proposer des orientations applicables en pratique clinique, fondées sur des données objectives et sur une approche pragmatique de la réadaptation locomotrice chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale classé GMFCS I, II et III.

1^{ère} Recommandation : Intégration de l'entraînement intensif à la marche dans la prise en charge courante

Un entraînement intensif à la marche sur tapis roulant, sans support de poids corporel, réalisé à raison de cinq séances par semaine sur une durée minimale de huit semaines, apparaît comme une modalité thérapeutique pertinente chez les enfants atteints de paralysie cérébrale GMFCS I à III. Il est recommandé que ce type d'entraînement soit intégré de manière structurée dans les programmes de rééducation locomotrice, en complément de la kinésithérapie conventionnelle, et non comme une intervention isolée ou ponctuelle. Cette intégration permet de renforcer la spécificité de l'entraînement à la marche et d'optimiser les adaptations fonctionnelles recherchées.

2^{ème} Recommandation : Ciblage prioritaire des enfants GMFCS II et III

Les gains fonctionnels les plus marqués, tant en valeur absolue que relative, ont été observés chez les enfants classés GMFCS II et III.

Chez ces enfants, l'entraînement intensif à la marche semble agir sur plusieurs leviers complémentaires :

- l'augmentation de la distance parcourue et de la vitesse de marche confortable,
- la réduction du coût énergétique de la locomotion,
- l'amélioration de la performance locomotrice perçue dans la vie quotidienne.

Ainsi, il apparaît pertinent de prioriser ce type de protocole chez les enfants GMFCS II et III, chez lesquels la marge de progression fonctionnelle est importante et cliniquement significative, tout en tenant compte des capacités individuelles et du niveau de fatigabilité.

3^{ème} Recommandation : Choix d'outils d'évaluation simples, validés et cliniquement pertinents

Cette étude souligne l'intérêt d'utiliser des outils d'évaluation validés, reproductibles et facilement accessibles en pratique clinique, tels que :

- le test de marche de six minutes (6MWT),
- le test de marche de dix mètres (10MWT),
- l'indice de dépense énergétique (IDE),
- la dimension E du GMFM,

- le score ABILOCO-Kids.

Il est recommandé d'associer systématiquement des mesures objectives (distance, vitesse, efficacité) à des mesures fonctionnelles ou perçues, afin de mieux appréhender le transfert des gains fonctionnels vers les activités de la vie quotidienne. Cette approche multimodale permet une analyse plus fine et plus pertinente des effets de l'entraînement à la marche qu'une évaluation reposant sur un seul indicateur.

L'ensemble de ces recommandations s'inscrit dans une logique de structuration de la prise en charge locomotrice, de renforcement de l'efficacité des interventions proposées et d'optimisation du suivi fonctionnel des enfants atteints de paralysie cérébrale marchants. Elles visent à favoriser une rééducation ciblée, mesurable et cliniquement pertinente, en adéquation avec les capacités des enfants et les contraintes des structures de soins.

Si les recommandations précédentes s'appuient sur des applications cliniques directement issues des résultats de cette étude, certains constats permettent également d'envisager des axes d'évolution et de développement des modalités de prise en charge, ouvrant ainsi des perspectives organisationnelles et scientifiques.

Les résultats de ce travail, mettant en évidence la faisabilité, la tolérance et l'efficacité d'un protocole d'entraînement à la marche simple et structuré, suggèrent la possibilité d'une extension progressive de ce type d'intervention en dehors du milieu hospitalier spécialisé en vue d'une vulgarisation.

À moyen terme, et sous réserve d'un encadrement approprié, d'une formation minimale des intervenants et du respect strict des conditions de sécurité, ce protocole pourrait être envisagé :

- dans des structures médico-sociales,
- dans des centres de rééducation de proximité,
- ou, dans des conditions adaptées, au sein d'environnements communautaires disposant d'équipements appropriés.

Cette perspective vise à améliorer l'accessibilité aux soins de rééducation, à renforcer la continuité de la prise en charge et à limiter le risque de déconditionnement fonctionnel chez les enfants atteints de paralysie cérébrale marchants.

Cette démarche s'inscrit dans une logique de continuité des soins, de démocratisation de l'accès à l'activité physique et de promotion d'une réadaptation fonctionnelle durable chez les enfants atteints de paralysie cérébrale.

Par ailleurs, cette étude ouvre la voie à des travaux futurs visant à confirmer ces observations sur des effectifs plus larges, à intégrer des groupes comparatifs, et à explorer l'impact à long terme de ce type d'intervention sur la participation, la qualité de vie et le maintien des acquis fonctionnels. L'intégration de mesures instrumentales complémentaires ainsi que l'évaluation de la transférabilité des gains dans la vie quotidienne constituent également des axes de recherche pertinents.

In fine, ce travail apporte des éléments solides en faveur de l'entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel comme intervention efficace, sécuritaire et cliniquement pertinente chez les enfants atteints de PC marchants. Il s'inscrit pleinement dans le cadre des pratiques fondées sur les preuves et contribue à l'évolution des stratégies de prise en charge rééducative, avec pour objectif ultime l'amélioration durable de la fonction, de la participation et de la qualité de vie de ces enfants.

BIBLIOGRAPHIE

1. McIntyre S, Goldsmith S, Webb A, Ehlinger V, Hollung SJ, McConnell K, Arnaud C, Smithers-Sheedy H, Oskoui M, Khandaker G *et al*: **Global prevalence of cerebral palsy: A systematic analysis**. *Dev Med Child Neurol* 2022, **64**(12):1494-1506.
2. Rose J, Gamble JG, Burgos A, Medeiros J, Haskell WL: **Energy expenditure index of walking for normal children and for children with cerebral palsy**. *Dev Med Child Neurol* 1990, **32**(4):333-340.
3. Dallmeijer AJ, Brehm MA: **Physical strain of comfortable walking in children with mild cerebral palsy**. *Disabil Rehabil* 2011, **33**(15-16):1351-1357.
4. Waters RL, Mulroy S: **The energy expenditure of normal and pathologic gait**. *Gait Posture* 1999, **9**(3):207-231.
5. Nsenga AL, Shephard RJ, Ahmaidi S: **Aerobic training in children with cerebral palsy**. *Int J Sports Med* 2013, **34**(6):533-537.
6. Moreau NG, Bodkin AW, Bjornson K, Hobbs A, Soileau M, Lahasky K: **Effectiveness of Rehabilitation Interventions to Improve Gait Speed in Children With Cerebral Palsy: Systematic Review and Meta-analysis**. *Phys Ther* 2016, **96**(12):1938-1954.
7. Qian G, Cai X, Xu K, Tian H, Meng Q, Ossowski Z, Liang J: **Which gait training intervention can most effectively improve gait ability in patients with cerebral palsy? A systematic review and network meta-analysis**. *Front Neurol* 2022, **13**:1005485.
8. Panteliadis C, Panteliadis P, Vassilyadi F: **Hallmarks in the history of cerebral palsy: from antiquity to mid-20th century**. *Brain Dev* 2013, **35**(4):285-292.
9. Ikram S, Dodson A: **The Mummy in Ancient Egypt: Equipping the Dead for Eternity**: Thames & Hudson; 1998.
10. Murad A: **A neurological mystery from history: the case of Claudius Caesar**. *J Hist Neurosci* 2010, **19**(3):221-227.
11. Pearce JMS: **The emperor with the shaking head**. *Journal of the Royal Society of Medicine* 2000, **93**(6):335-336.
12. Shepherd ES, Goldsmith S, Doyle LW, Middleton P, Marret S, Rouse DJ, Pryde P, Wolf HT, Crowther CA: **Magnesium sulphate for women at risk of preterm birth for neuroprotection of the fetus**. *Cochrane Database Syst Rev* 2024, **5**(5):CD004661.
13. Pietrzak K, Grzybowski A, Kaczmarczyk J: **William John Little (1810–1894)**. *Journal of Neurology* 2016, **263**(5):1047-1049.
14. Little WJ: **The Classic: Hospital for the Cure of Deformities: Course of Lectures on the Deformities of the Human Frame**. *Clinical Orthopaedics and Related Research*® 2012, **470**(5):1252-1256.
15. Robbins BH, Christie A: **Sir William Osler the Pediatrician**. *Am J Dis Child* 1963, **106**:124-129.

16. Freud S, Rie O: **Klinische Studie über die halbseitige Cerebrallähmung der Kinder / von Docent Dr. Sigm. Freud und Dr. Oscar Rie.** Wien: Moritz Perles; 1891.
17. Keith RCM, Mackenzie ICK, Polani PE: **The Little Club.** *Developmental Medicine & Child Neurology* 1959, **1**(5):27-35.
18. Bax MC: **Terminology and Classification of Cerebral Palsy.** *Dev Med Child Neurol* 1964, **6**(3):295-297.
19. **The Definition and Classification of Cerebral Palsy.** *Developmental Medicine & Child Neurology* 2008, **49**(s2):1-44.
20. Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B, Jacobsson B, Damiano D, Executive Committee for the Definition of Cerebral P: **Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005.** *Dev Med Child Neurol* 2005, **47**(8):571-576.
21. Rosenbraun: **The Definition and Classification of Cerebral Palsy.** *Developmental Medicine & Child Neurology* 2008, **49**(s2):1-44.
22. Blair E, Cans C: **The Definition of Cerebral Palsy.** In: *Cerebral Palsy: A Multidisciplinary Approach.* edn. Edited by Panteliadis CP. Cham: Springer International Publishing; 2018: 13-17.
23. **Global, regional, and national burden of 12 mental disorders in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019.** *Lancet Psychiatry* 2022, **9**(2):137-150.
24. Blair E, Cans C, Sellier E: **Epidemiology of the Cerebral Palsies.** In: *Cerebral Palsy.* edn. Edited by Panteliadis CP. Cham: Springer International Publishing; 2018: 19-28.
25. Surveillance of Cerebral Palsy in E: **Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE).** *Dev Med Child Neurol* 2000, **42**(12):816-824.
26. **Cerebral palsy in Australia: birth prevalence, 1995-2016, and differences by residential remoteness: a population-based register study**
27. Oskoui M, Coutinho F, Dykeman J, Jette N, Pringsheim T: **An update on the prevalence of cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis.** *Dev Med Child Neurol* 2013, **55**(6):509-519.
28. Mushta SM, King C, Goldsmith S, Smithers-Sheedy H, Badahdah AM, Rashid H, Badawi N, Khandaker G, McIntyre S: **Epidemiology of Cerebral Palsy among Children and Adolescents in Arabic-Speaking Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis.** *Brain Sci* 2022, **12**(7):859.
29. Little WJ: **On the Influence of Abnormal Parturition, Difficult Labours, Premature Birth, and Asphyxia Neonatorum, on the Mental and Physical Condition of the Child, Especially in Relation to Deformities.** *Archives of Neurology* 1969, **20**(2):218-224.
30. Scherzer AL, Tscharnuter I: **Early diagnosis and therapy in cerebral palsy : a primer on infant developmental problems:** New York, N.Y. : M. Dekker; 1982.

31. Stanley FJ, Blair E: **Why have we failed to reduce the frequency of cerebral palsy?** *Med J Aust* 1991, **154**(9):623-626.
32. Korzeniewski SJ, Slaughter J, Lenski M, Haak P, Paneth N: **The complex aetiology of cerebral palsy.** *Nat Rev Neurol* 2018, **14**(9):528-543.
33. Sandran NG, Badawi N, Gecz J, van Eyk CL: **Cerebral palsy as a childhood-onset neurological disorder caused by both genetic and environmental factors.** *Semin Fetal Neonatal Med* 2024, **29**(2-3):101551.
34. Ogoke C: **Aetiology and Pathophysiology of Cerebral Palsy.** In., edn.; 2022.
35. Donald KA, Samia P, Kakooza-Mwesige A, Bearden D: **Pediatric cerebral palsy in Africa: a systematic review.** *Semin Pediatr Neurol* 2014, **21**(1):30-35.
36. Basu AP, Low K, Ratnaik T, Rowitch D: **Genetic investigations in cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2025, **67**(2):177-185.
37. Gonzalez-Mantilla PJ, Hu Y, Myers SM, Finucane BM, Ledbetter DH, Martin CL, Moreno-De-Luca A: **Diagnostic Yield of Exome Sequencing in Cerebral Palsy and Implications for Genetic Testing Guidelines: A Systematic Review and Meta-analysis.** *JAMA Pediatr* 2023, **177**(5):472-478.
38. Srivastava S, Lewis SA, Cohen JS, Zhang B, Aravamuthan BR, Chopra M, Sahin M, Kruer MC, Poduri A: **Molecular Diagnostic Yield of Exome Sequencing and Chromosomal Microarray in Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-analysis.** *JAMA Neurol* 2022, **79**(12):1287-1295.
39. Janzing AM, Eklund E, De Koning TJ, Eggink H: **Clinical Characteristics Suggestive of a Genetic Cause in Cerebral Palsy: A Systematic Review.** *Pediatr Neurol* 2024, **153**:144-151.
40. Xu Y, Li Y, Richard SA, Sun Y, Zhu C: **Genetic pathways in cerebral palsy: a review of the implications for precision diagnosis and understanding disease mechanisms.** *Neural Regen Res* 2024, **19**(7):1499-1508.
41. Razaz N, Cnattingius S, Lisonkova S, Nematollahi S, Oskoui M, Joseph KS, Kramer M: **Pre-pregnancy and pregnancy disorders, pre-term birth and the risk of cerebral palsy: a population-based study.** *Int J Epidemiol* 2023, **52**(6):1766-1773.
42. Perra O, Rankin J, Platt MJ, Sellier E, Arnaud C, De La Cruz J, Krageloh-Mann I, Sweet DG, Bjellmo S: **Decreasing cerebral palsy prevalence in multiple births in the modern era: a population cohort study of European data.** *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2021, **106**(2):125-130.
43. Gong C, Zeng P, Lian B, Li J, Liu J, Liu Y, Fang L, Tian H, Wang L, Jiang Z *et al*: **Associations of risk factors and the number of risk factors with the classification, GMFCS level and comorbidities with cerebral palsy: a retrospective study.** *BMC Pediatr* 2024, **24**(1):822.
44. Ylijoki M, Sentenac M, Pape B, Zeitlin J, Lehtonen L: **The aetiology of preterm birth and risks of cerebral palsy and cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis.** *Acta Paediatr* 2024, **113**(4):643-653.
45. Esih K, Trunk T, Osredkar D, Verdenik I, Neubauer D, Troha Gergeli A, Lucovnik M: **The impact of birthweight on the development of cerebral palsy: A**

- population-based matched case-control study.** *Early Hum Dev* 2022, **165**:105533.
46. Toorn R, Laughton B, Zyl N, Doets L, Elsinger F: **Aetiology of cerebral palsy in children presenting at Tygerberg Hospital.** *South African journal of child health* 2007, **1**.
47. Correia A, Cristina da Silva Chaves S, Januário P, Santana N, Silva V, Wagner Leal Cordeiro Júnior C, Campos E, Agnelo D, Frantz R, Rossini B *et al*: **Risk factors and clinical forms of cerebral palsy - Literature review.** *International Journal of Health Science* 2023, **3**:2-5.
48. Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J: **Cerebral palsy in children: a clinical overview.** *Transl Pediatr* 2020, **9**(Suppl 1):S125-S135.
49. Benini R, Dagenais L, Shevell MI, Registre de la Paralysie Cerebrale au Quebec C: **Normal imaging in patients with cerebral palsy: what does it tell us?** *J Pediatr* 2013, **162**(2):369-374 e361.
50. Chen A, Dyck Holzinger S, Oskoui M, Shevell M: **Losing a diagnosis of cerebral palsy: a comparison of variables at 2 and 5 years.** *Dev Med Child Neurol* 2020, **62**(1):83-88.
51. Watson L, Blair E, Stanley FJ: **Report of the Western Australian Cerebral Palsy Register - to birth year 1999.** In: 1999; 1999.
52. Granild-Jensen JB, Rackauskaite G, Flachs EM, Uldall P: **Predictors for early diagnosis of cerebral palsy from national registry data.** *Dev Med Child Neurol* 2015, **57**(10):931-935.
53. Graham HK, Thomason P, Willoughby K, Hastings-Ison T, Stralen RV, Dala-Ali B, Wong P, Rutz E: **Musculoskeletal Pathology in Cerebral Palsy: A Classification System and Reliability Study.** *Children (Basel)* 2021, **8**(3).
54. **CDC's Developmental Milestones** [<https://www.cdc.gov/act-early/milestones/index.html>]
55. Novak I, Morgan C, Adde L, Blackman J, Boyd RN, Brunstrom-Hernandez J, Cioni G, Damiano D, Darrah J, Eliasson AC *et al*: **Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy: Advances in Diagnosis and Treatment.** *JAMA Pediatr* 2017, **171**(9):897-907.
56. Michael-Asalu A, Taylor G, Campbell H, Lelea L-L, Kirby RS: **Cerebral Palsy: Diagnosis, Epidemiology, Genetics, and Clinical Update.** *Advances in Pediatrics* 2019, **66**:189-208.
57. Korzeniewski SJ, Birbeck G, DeLano MC, Potchen MJ, Paneth N: **A systematic review of neuroimaging for cerebral palsy.** *J Child Neurol* 2008, **23**(2):216-227.
58. Vossough A: **Brain Imaging: Magnetic Resonance Imaging.** In: *Cerebral Palsy: A Multidisciplinary Approach.* edn. Edited by Panteliadis CP. Cham: Springer International Publishing; 2018: 113-131.
59. Himmelmann K, Horber V, De La Cruz J, Horridge K, Mejaski-Bosnjak V, Hollody K, Krägeloh-Mann I: **MRI classification system (MRICS) for children with**

- cerebral palsy: development, reliability, and recommendations.** *Dev Med Child Neurol* 2017, **59**(1):57-64.
60. Jacobsson B, Hagberg G: **Antenatal risk factors for cerebral palsy.** *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2004, **18**(3):425-436.
61. Graham HK, Rosenbaum P, Paneth N, Dan B, Lin JP, Damiano DL, Becher JG, Gaebler-Spira D, Colver A, Reddihough DS *et al*: **Cerebral palsy.** *Nat Rev Dis Primers* 2016, **2**:15082.
62. Richards CL, Malouin F: **Cerebral palsy: definition, assessment and rehabilitation.** *Handb Clin Neurol* 2013, **111**:183-195.
63. Himmelmann K, Panteliadis CP: **Clinical Characteristics of Cerebral Palsy.** In: *Cerebral Palsy: From Childhood to Adulthood.* edn. Edited by Panteliadis CP. Cham: Springer Nature Switzerland; 2025: 115-130.
64. Lance JW: **The control of muscle tone, reflexes, and movement: Robert Wartenberg Lecture.** *Neurology* 1980, **30**(12):1303-1313.
65. Sanger TD, Delgado MR, Gaebler-Spira D, Hallett M, Mink JW: **Classification and definition of disorders causing hypertonia in childhood.** *Pediatrics* 2003, **111**(1):e89-97.
66. van den Noort JC, Bar-On L, Aertbeliën E, Bonikowski M, Braendvik SM, Broström EW, Buizer AI, Burridge JH, van Campenhout A, Dan B *et al*: **European consensus on the concepts and measurement of the pathophysiological neuromuscular responses to passive muscle stretch.** *Eur J Neurol* 2017, **24**(7):981-e938.
67. Dressler D, Bhidayasiri R, Bohlega S, Chana P, Chien HF, Chung TM, Colosimo C, Ebke M, Fedoroff K, Frank B *et al*: **Defining spasticity: a new approach considering current movement disorders terminology and botulinum toxin therapy.** *J Neurol* 2018, **265**(4):856-862.
68. Pandyan AD, Johnson GR, Price CI, Curless RH, Barnes MP, Rodgers H: **A review of the properties and limitations of the Ashworth and modified Ashworth Scales as measures of spasticity.** *Clin Rehabil* 1999, **13**(5):373-383.
69. Bohannon RW, Smith MB: **Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity.** *Phys Ther* 1987, **67**(2):206-207.
70. Bar-On L, Van Campenhout A, Desloovere K, Aertbeliën E, Huenaearts C, Vandendoorent B, Nieuwenhuys A, Molenaers G: **Is an instrumented spasticity assessment an improvement over clinical spasticity scales in assessing and predicting the response to integrated botulinum toxin type a treatment in children with cerebral palsy?** *Arch Phys Med Rehabil* 2014, **95**(3):515-523.
71. Mutlu A, Livanelioglu A, Gunel MK: **Reliability of Ashworth and Modified Ashworth scales in children with spastic cerebral palsy.** *BMC Musculoskelet Disord* 2008, **9**:44.
72. Numanoğlu A, Günel MK: **Intraobserver reliability of modified Ashworth scale and modified Tardieu scale in the assessment of spasticity in children with cerebral palsy.** *Acta Orthop Traumatol Turc* 2012, **46**(3):196-200.

73. Yam WK, Leung MS: **Interrater reliability of Modified Ashworth Scale and Modified Tardieu Scale in children with spastic cerebral palsy.** *J Child Neurol* 2006, **21**(12):1031-1035.
74. Tardieu G, Shentoub S, Delarue R: **[Research on a technic for measurement of spasticity].** *Rev Neurol (Paris)* 1954, **91**(2):143-144.
75. Held JP, Pierrot-Deseilligny E: **Rééducation motrice des affections neurologiques:** Baillière; 1969.
76. Boyd RN, Graham HK: **Objective measurement of clinical findings in the use of botulinum toxin type A for the management of children with cerebral palsy.** *European Journal of Neurology* 1999, **6**(S4):s23-s35.
77. Alhusaini AA, Dean CM, Crosbie J, Shepherd RB, Lewis J: **Evaluation of spasticity in children with cerebral palsy using Ashworth and Tardieu Scales compared with laboratory measures.** *J Child Neurol* 2010, **25**(10):1242-1247.
78. Gracies JM, Burke K, Clegg NJ, Browne R, Rushing C, Fehlings D, Matthews D, Tilton A, Delgado MR: **Reliability of the Tardieu Scale for assessing spasticity in children with cerebral palsy.** *Arch Phys Med Rehabil* 2010, **91**(3):421-428.
79. Fehlings D, Agnew B, Gimeno H, Harvey A, Himmelmann K, Lin JP, Mink JW, Monbaliu E, Rice J, Bohn E *et al*: **Pharmacological and neurosurgical management of cerebral palsy and dystonia: Clinical practice guideline update.** *Dev Med Child Neurol* 2024, **66**(9):1133-1147.
80. Mink JW: **The Basal Ganglia and Involuntary Movements: Impaired Inhibition of Competing Motor Patterns.** *Archives of Neurology* 2003, **60**(10):1365-1368.
81. Jethwa A, Mink J, Macarthur C, Knights S, Fehlings T, Fehlings D: **Development of the Hypertonia Assessment Tool (HAT): a discriminative tool for hypertonia in children.** *Dev Med Child Neurol* 2010, **52**(5):e83-87.
82. Barry MJ, VanSwearingen JM, Albright AL: **Reliability and responsiveness of the Barry–Albright Dystonia Scale.** *Developmental Medicine & Child Neurology* 1999, **41**(6):404-411.
83. Comella CL, Leurgans S, Wu J, Stebbins GT, Chmura T: **Rating scales for dystonia: a multicenter assessment.** *Mov Disord* 2003, **18**(3):303-312.
84. Burke RE, Fahn S, Marsden CD, Bressman SB, Moskowitz C, Friedman J: **Validity and reliability of a rating scale for the primary torsion dystonias.** *Neurology* 1985, **35**(1):73-77.
85. Monbaliu E, Ortibus E, De Cat J, Dan B, Heyrman L, Prinzie P, De Cock P, Feys H: **The Dyskinesia Impairment Scale: a new instrument to measure dystonia and choreoathetosis in dyskinetic cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2012, **54**(3):278-283.
86. Stewart K, Harvey A, Johnston LM: **A systematic review of scales to measure dystonia and choreoathetosis in children with dyskinetic cerebral palsy.** *Developmental Medicine & Child Neurology* 2017, **59**(8):786-795.

87. Rice J, Skuza P, Baker F, Russo R, Fehlings D: **Identification and measurement of dystonia in cerebral palsy.** *Developmental Medicine & Child Neurology* 2017, **59**(12):1249-1255.
88. Pandyan AD, Gregoric M, Barnes MP, Wood D, Van Wijck F, Burridge J, Hermens H, Johnson GR: **Spasticity: clinical perceptions, neurological realities and meaningful measurement.** *Disabil Rehabil* 2005, **27**(1-2):2-6.
89. McClelland VM, Lin JP: **Sensorimotor Integration in Childhood Dystonia and Dystonic Cerebral Palsy-A Developmental Perspective.** *Front Neurol* 2021, **12**:668081.
90. Aertssen W, Smulders E, Smits-Engelsman B, Rameckers E: **Functional strength measurement in cerebral palsy: feasibility, test-retest reliability, and construct validity.** *Dev Neurorehabil* 2019, **22**(7):453-461.
91. Crompton J, Galea MP, Phillips B: **Hand-held dynamometry for muscle strength measurement in children with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2007, **49**(2):106-111.
92. Willemse L, Brehm MA, Scholtes VA, Jansen L, Woudenberg-Vos H, Dallmeijer AJ: **Reliability of isometric lower-extremity muscle strength measurements in children with cerebral palsy: implications for measurement design.** *Phys Ther* 2013, **93**(7):935-941.
93. Batson T, Whitten SVW, Singh H, Zhang C, Colquitt G, Modlesky CM: **Estimates of functional muscle strength from a novel progressive lateral step-up test are feasible, reliable, and related to physical activity in children with cerebral palsy.** *PLoS One* 2024, **19**(7):e0306529.
94. Lidbeck C, Tedroff K, Bartonek Å: **Muscle strength does not explain standing ability in children with bilateral spastic cerebral palsy: a cross sectional descriptive study.** *BMC Neurol* 2015, **15**:188.
95. Sanger TD, Chen D, Delgado MR, Gaebler-Spira D, Hallett M, Mink JW: **Definition and classification of negative motor signs in childhood.** *Pediatrics* 2006, **118**(5):2159-2167.
96. Sukal-Moulton T, Fowler E: **Selective Voluntary Motor Control in Children and Youth with Spastic Cerebral Palsy.** In: *Cerebral Palsy.* edn. Edited by Miller F, Bachrach S, Lennon N, O'Neil ME. Cham: Springer International Publishing; 2020: 2587-2610.
97. Keller JW, Balzer J, Fahr A, Lieber J, Keller U, van Hedel HJA: **First validation of a novel assessgame quantifying selective voluntary motor control in children with upper motor neuron lesions.** *Scientific Reports* 2019, **9**(1):19972.
98. Fowler EG, Staudt LA, Greenberg MB: **Lower-extremity selective voluntary motor control in patients with spastic cerebral palsy: increased distal motor impairment.** *Dev Med Child Neurol* 2010, **52**(3):264-269.
99. Steele KM, Rozumalski A, Schwartz MH: **Muscle synergies and complexity of neuromuscular control during gait in cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2015, **57**(12):1176-1182.

100. Zhou JY, Lowe E, Cahill-Rowley K, Mahtani GB, Young JL, Rose J: **Influence of impaired selective motor control on gait in children with cerebral palsy.** *J Child Orthop* 2019, **13**(1):73-81.
101. Yun G, Huang M, Cao J, Hu X: **Selective motor control correlates with gross motor ability, functional balance and gait performance in ambulant children with bilateral spastic cerebral palsy.** *Gait & Posture* 2023, **99**:9-13.
102. Wagner LV, Davids JR, Hardin JW: **Selective Control of the Upper Extremity Scale: validation of a clinical assessment tool for children with hemiplegic cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2016, **58**(6):612-617.
103. Gage JR, Novacheck TF: **An update on the treatment of gait problems in cerebral palsy.** *J Pediatr Orthop B* 2001, **10**(4):265-274.
104. Gracies JM: **Pathophysiology of spastic paresis. I: Paresis and soft tissue changes.** *Muscle Nerve* 2005, **31**(5):535-551.
105. Love SC, Novak I, Kentish M, Desloovere K, Heinen F, Molenaers G, O'Flaherty S, Graham HK: **Botulinum toxin assessment, intervention and after-care for lower limb spasticity in children with cerebral palsy: international consensus statement.** *Eur J Neurol* 2010, **17** Suppl 2:9-37.
106. Bérard C: **La paralysie cérébrale de l'enfant guide de la consultation examen neuro-orthopédique du tronc et des membres inférieurs avec le service de l'Escale (Hospices civils de Lyon) et le groupe Varax, 2e éd. augmentée edn.** Montpellier: Sauramps medical; 2010.
107. Pavão SL, dos Santos AN, Woollacott MH, Rocha NA: **Assessment of postural control in children with cerebral palsy: a review.** *Res Dev Disabil* 2013, **34**(5):1367-1375.
108. Baker N, Gough C, Gordon S: **Classification of Balance Assessment Technology: A Scoping Review of Systematic Reviews.** *Stud Health Technol Inform* 2020, **268**:45-59.
109. Pavão SL, Barbosa KA, Sato Tde O, Rocha NA: **Functional balance and gross motor function in children with cerebral palsy.** *Res Dev Disabil* 2014, **35**(10):2278-2283.
110. Saether R, Helbostad JL, Riphagen, II, Vik T: **Clinical tools to assess balance in children and adults with cerebral palsy: a systematic review.** *Dev Med Child Neurol* 2013, **55**(11):988-999.
111. Panibatla S, Kumar V, Narayan A: **Relationship Between Trunk Control and Balance in Children with Spastic Cerebral Palsy: A Cross-Sectional Study.** *J Clin Diagn Res* 2017, **11**(9):Yc05-yc08.
112. Duarte Nde A, Grecco LA, Franco RC, Zanon N, Oliveira CS: **Correlation between Pediatric Balance Scale and Functional Test in Children with Cerebral Palsy.** *J Phys Ther Sci* 2014, **26**(6):849-853.
113. Novak I, Hines M, Goldsmith S, Barclay R: **Clinical prognostic messages from a systematic review on cerebral palsy.** *Pediatrics* 2012, **130**(5):e1285-1312.

114. Uhre CF, Caspersen ID, Lose C, Rackauskaite G, Robotham R, Høi-Hansen CE: **Cognitive functioning in children and adolescents with cerebral palsy: protocol for the Danish CPCog-Youth study.** *BMC Pediatr* 2024, **24**(1):836.
115. Cooper MS, Mackay MT, Dagia C, Fahey MC, Howell KB, Reddihough D, Reid S, Harvey AS: **Epilepsy syndromes in cerebral palsy: varied, evolving and mostly self-limited.** *Brain* 2022, **146**(2):587-599.
116. Mei C, Reilly S, Bickerton M, Mensah F, Turner S, Kumaranayagam D, Pennington L, Reddihough D, Morgan AT: **Speech in children with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2020, **62**(12):1374-1382.
117. Geç J, Berry JG: **Cerebral palsy with autism and ADHD: time to pay attention.** *Dev Med Child Neurol* 2021, **63**(3):247-248.
118. Pålman M, Gillberg C, Himmelmann K: **Autism and attention-deficit/hyperactivity disorder in children with cerebral palsy: high prevalence rates in a population-based study.** *Dev Med Child Neurol* 2021, **63**(3):320-327.
119. Speyer R, Cordier R, Kim JH, Cocks N, Michou E, Wilkes-Gillan S: **Prevalence of drooling, swallowing, and feeding problems in cerebral palsy across the lifespan: a systematic review and meta-analyses.** *Dev Med Child Neurol* 2019, **61**(11):1249-1258.
120. Ogoke CC: **Clinical Classification of Cerebral Palsy.** In: *Cerebral Palsy - Clinical and Therapeutic Aspects.* edn. Edited by Al-Zwaini IJ. London: IntechOpen; 2018.
121. Diaz CIE, Maroto GA, Barrionuevo MC, Moya JE, Acosta JS, Procel AA, Pérez JR, Jaya ACA: **Prevalencia, factores de riesgo y características clínicas de la parálisis cerebral infantil.** *Archivos venezolanos de farmacología y terapéutica* 2019, **38**(6):778-789.
122. Cantero MJP, Medinilla EEM, Martínez AC, Gutiérrez SG: **Comprehensive approach to children with cerebral palsy.** *Anales de Pediatría (English Edition)* 2021, **95**(4):276.e271-276.e211.
123. Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B: **Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 1997, **39**(4):214-223.
124. Palisano RJ, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston MH: **Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System.** *Dev Med Child Neurol* 2008, **50**(10):744-750.
125. Paulson A, Vargus-Adams J: **Overview of Four Functional Classification Systems Commonly Used in Cerebral Palsy.** *Children (Basel)* 2017, **4**(4).
126. Piscitelli D, Ferrarello F, Ugolini A, Verola S, Pellicciari L: **Measurement properties of the Gross Motor Function Classification System, Gross Motor Function Classification System-Expanded & Revised, Manual Ability Classification System, and Communication Function Classification System in cerebral palsy: a systematic review with meta-analysis.** *Dev Med Child Neurol* 2021, **63**(11):1251-1261.
127. Demont A: **Recommandations de bonnes pratiques de la Haute Autorité de Santé et principales évolutions concernant la rééducation**

- et la réadaptation de la fonction motrice de l'appareil locomoteur des personnes diagnostiquées de paralysie cérébrale. *Kinésithérapie, la Revue* 2023, **23**(254):8-16.
128. Eliasson AC, Krumlind-Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Arner M, Ohrvall AM, Rosenbaum P: **The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability.** *Dev Med Child Neurol* 2006, **48**(7):549-554.
 129. Eliasson AC, Ullenhag A, Wahlström U, Krumlind-Sundholm L: **Mini-MACS: development of the Manual Ability Classification System for children younger than 4 years of age with signs of cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2017, **59**(1):72-78.
 130. Plasschaert VF, Ketelaar M, Nijhuis MG, Enkelaar L, Gorter JW: **Classification of manual abilities in children with cerebral palsy under 5 years of age: how reliable is the Manual Ability Classification System?** *Clin Rehabil* 2009, **23**(2):164-170.
 131. Hidecker MJ, Paneth N, Rosenbaum PL, Kent RD, Lillie J, Eulenberg JB, Chester K, Jr., Johnson B, Michalsen L, Evatt M *et al*: **Developing and validating the Communication Function Classification System for individuals with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2011, **53**(8):704-710.
 132. Sellers D, Mandy A, Pennington L, Hankins M, Morris C: **Development and reliability of a system to classify the eating and drinking ability of people with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2014, **56**(3):245-251.
 133. Bykova KM, Frank U, Girolami GL: **Eating and Drinking Ability Classification System to detect aspiration risk in children with cerebral palsy: a validation study.** *European Journal of Pediatrics* 2023, **182**(7):3365-3373.
 134. Sellers D, Pennington L, Bryant E, Benfer K, Weir K, Aboagye S, Morris C: **Mini-EDACS: Development of the Eating and Drinking Ability Classification System for young children with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2022, **64**(7):897-906.
 135. Modlesky CM, Matias AB: **Muscle in children with cerebral palsy: current evidence, knowledge gaps, and emerging research opportunities.** *Pediatric Research* 2024.
 136. Stackhouse SK, Binder-Macleod SA, Lee SC: **Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy.** *Muscle Nerve* 2005, **31**(5):594-601.
 137. Winter DA: **Biomechanics and motor control of human movement:** John Wiley & sons; 2009.
 138. Elder GCB, Bsc GS, Pt KC, Msc DW, Marshall A, Leahey L: **Contributing factors to muscle weakness in children with cerebral palsy.** *Developmental Medicine & Child Neurology* 2003, **45**(8):542-550.
 139. Handsfield GG, Meyer CH, Abel MF, Blemker SS: **Heterogeneity of muscle sizes in the lower limbs of children with cerebral palsy.** *Muscle Nerve* 2016, **53**(6):933-945.

140. Hanssen B, Peeters N, Vandekerckhove I, De Beukelaer N, Bar-On L, Molenaers G, Van Campenhout A, Degelaen M, Van den Broeck C, Calders P *et al*: **The Contribution of Decreased Muscle Size to Muscle Weakness in Children With Spastic Cerebral Palsy.** *Front Neurol* 2021, **12**:692582.
141. Moreau NG, Falvo MJ, Damiano DL: **Rapid force generation is impaired in cerebral palsy and is related to decreased muscle size and functional mobility.** *Gait Posture* 2012, **35**(1):154-158.
142. Barber L, Hastings-Ison T, Baker R, Barrett R, Lichtwark G: **Medial gastrocnemius muscle volume and fascicle length in children aged 2 to 5 years with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2011, **53**(6):543-548.
143. Johnson DL, Miller F, Subramanian P, Modlesky CM: **Adipose tissue infiltration of skeletal muscle in children with cerebral palsy.** *J Pediatr* 2009, **154**(5):715-720.
144. Mockford M, Caulton JM: **The pathophysiological basis of weakness in children with cerebral palsy.** *Pediatr Phys Ther* 2010, **22**(2):222-233.
145. Verschuren O, Takken T: **Aerobic capacity in children and adolescents with cerebral palsy.** *Res Dev Disabil* 2010, **31**(6):1352-1357.
146. Wijnhoud EJ, Bos A, Buizer AI, Beckerman H: **Aerobic fitness in children with cerebral palsy compared to typically developing peers: A systematic review and meta-analysis.** *Braz J Phys Ther* 2024, **28**(6):101142.
147. Kimoto M, Okada K, Sakamoto H, Kondou T, Kawanobe U: **Relationship between walking efficiency and muscular strength of the lower limbs in children with cerebral palsy.** *J Phys Ther Sci* 2019, **31**(3):232-235.
148. Pouliot-Laforte A, Parent A, Ballaz L: **Walking efficiency in children with cerebral palsy: relation to muscular strength and gait parameters.** *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2014, **17 Suppl 1**:104-105.
149. Rosenbaum PL, Palisano RJ, Bartlett DJ, Galuppi BE, Russell DJ: **Development of the Gross Motor Function Classification System for cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2008, **50**(4):249-253.
150. Huroy M, Behlim T, Andersen J, Buckley D, Fehlings D, Kirton A, Pigeon N, Mishaal RA, Wood E, Shevell M *et al*: **Stability of the Gross Motor Function Classification System over time in children with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2022, **64**(12):1487-1493.
151. Morris C, Galuppi BE, Rosenbaum PL: **Reliability of family report for the Gross Motor Function Classification System.** *Dev Med Child Neurol* 2004, **46**(7):455-460.
152. Graham HK, Harvey A, Rodda J, Nattrass GR, Pirpiris M: **The Functional Mobility Scale (FMS).** *J Pediatr Orthop* 2004, **24**(5):514-520.
153. Harvey A, Graham HK, Morris ME, Baker R, Wolfe R: **The Functional Mobility Scale: ability to detect change following single event multilevel surgery.** *Dev Med Child Neurol* 2007, **49**(8):603-607.

154. Caty GD, Arnould C, Thonnard JL, Lejeune TM: **ABILOCO-Kids: a Rasch-built 10-item questionnaire for assessing locomotion ability in children with cerebral palsy.** *J Rehabil Med* 2008, **40**(10):823-830.
155. Engineer P, Diwan S, Vyas N: **Correlation of gross motor function with ABILOCO-Kids questionnaire for assessing locomotion ability in children with cerebral palsy.** *International Journal of Contemporary Pediatrics* 2014, **1**:24.
156. Alnahdi AH, Alhusaini AA, Yousef B, Alshami A: **The Arabic version of the ABILOCO-Kids scale is valid and reliable in children with cerebral palsy.** *Physiother Theory Pract* 2022, **38**(1):173-181.
157. **Gross Motor Function Measure (GMFM-66 & GMFM-88)** [<https://canchild.ca/en/resources/44-gross-motor-function-measure-gmfm>]
158. Russell DJ, Avery LM, Rosenbaum PL, Raina PS, Walter SD, Palisano RJ: **Improved Scaling of the Gross Motor Function Measure for Children With Cerebral Palsy: Evidence of Reliability and Validity.** *Physical Therapy* 2000, **80**(9):873-885.
159. Gross S, Spiess K, Steven S, Zimmermann M, Schoenau E, Duran I: **Prediction of the Gross Motor Function Measure-66 in Ambulant Children with Cerebral Palsy Based on Instrumental Gait Analysis Using Machine-Learning Algorithms.** *Applied Sciences* 2025, **15**(15):8664.
160. Wren TA, Do KP, Hara R, Dorey FJ, Kay RM, Otsuka NY: **Gillette Gait Index as a gait analysis summary measure: comparison with qualitative visual assessments of overall gait.** *J Pediatr Orthop* 2007, **27**(7):765-768.
161. Michnik R, Nowakowska K, Jurkojć J, Jochymczyk-Woźniak K, Kopyta I: **Motor functions assessment method based on energy changes in gait cycle.** *Acta Bioeng Biomech* 2017, **19**(4):63-75.
162. Gautheron, Minaire P: **La Mesure d'indépendance fonctionnelle pour enfants (MIF MOMES).** In: 1991; 1991.
163. Charmet E, Bethoux F, Calmels P, Gautheron V, Minaire P: **MIF Mômes: étude de la reproductibilité et analyse d'une population témoin d'enfants sains de 1 à 9 ans (échantillon de 167 sujets).** *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 1996, **39**(1):15-19.
164. Allen DD, Gorton GE, Oeffinger DJ, Tylkowski C, Tucker CA, Haley SM: **Analysis of the pediatric outcomes data collection instrument in ambulatory children with cerebral palsy using confirmatory factor analysis and item response theory methods.** *J Pediatr Orthop* 2008, **28**(2):192-198.
165. Law M, Baptiste S, McColl M, Opzoomer A, Polatajko H, Pollock N: **The Canadian occupational performance measure: an outcome measure for occupational therapy.** *Can J Occup Ther* 1990, **57**(2):82-87.
166. Berg M, Jahnsen R, Frøslie KF, Hussain A: **Reliability of the Pediatric Evaluation of Disability Inventory (PEDI).** *Phys Occup Ther Pediatr* 2004, **24**(3):61-77.
167. Rimmer JH: **Physical fitness levels of persons with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2001, **43**(3):208-212.

168. Middleton A, Fritz SL, Lusardi M: **Walking speed: the functional vital sign.** *J Aging Phys Act* 2015, **23**(2):314-322.
169. Davids JR, Cung NQ, Chen S, Sison-Williamson M, Bagley AM: **Control of Walking Speed in Children With Cerebral Palsy.** *J Pediatr Orthop* 2019, **39**(8):429-435.
170. Carcreff L, Gerber CN, Paraschiv-Ionescu A, De Coulon G, Aminian K, Newman CJ, Armand S: **Walking Speed of Children and Adolescents With Cerebral Palsy: Laboratory Versus Daily Life.** *Front Bioeng Biotechnol* 2020, **8**:812.
171. Oeffinger D, Bagley A, Rogers S, Gorton G, Kryscio R, Abel M, Damiano D, Barnes D, Tylkowski C: **Outcome tools used for ambulatory children with cerebral palsy: responsiveness and minimum clinically important differences.** *Dev Med Child Neurol* 2008, **50**(12):918-925.
172. Vameghi R, Hoseini SA, Heydarian S, Azadeh H, Gharib M: **Walking Ability, Participation, and Quality of Life in Children with Spastic Diplegic Cerebral Palsy: A Path Analysis Study.** *Iran J Child Neurol* 2023, **17**(2):75-91.
173. Volpini M, Aquino M, Holanda AC, Emygdio E, Polese J: **Clinical effects of assisted robotic gait training in walking distance, speed, and functionality are maintained over the long term in individuals with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis.** *Disability and Rehabilitation* 2022, **44**(19):5418-5428.
174. Gafner SC, Bruyneel A-V: **Test de 10 mètres de marche.** *Kinésithérapie, la Revue* 2022, **22**(248-249):46-49.
175. Sánchez-González JL, Llamas-Ramos I, Llamas-Ramos R, Molina-Rueda F, Carratalá-Tejada M, Cuesta-Gómez A: **Reliability and Validity of the 10-Meter Walk Test (10MWT) in Adolescents and Young Adults with Down Syndrome.** *Children* 2023, **10**(4):655.
176. Novak I, Morgan C, Fahey M, Finch-Edmondson M, Galea C, Hines A, Langdon K, Namara MM, Paton MC, Popat H *et al*: **State of the Evidence Traffic Lights 2019: Systematic Review of Interventions for Preventing and Treating Children with Cerebral Palsy.** *Curr Neurol Neurosci Rep* 2020, **20**(2):3.
177. Dhote SN, Khatri PA, Ganvir SS: **Reliability of "Modified timed up and go" test in children with cerebral palsy.** *J Pediatr Neurosci* 2012, **7**(2):96-100.
178. Carey H, Martin K, Combs-Miller S, Heathcock JC: **Reliability and Responsiveness of the Timed Up and Go Test in Children With Cerebral Palsy.** *Pediatr Phys Ther* 2016, **28**(4):401-408.
179. Verbecque E, da Costa PH, Meyns P, Desloovere K, Vereeck L, Hallems A: **Age-related changes in postural sway in preschoolers.** *Gait Posture* 2016, **44**:116-122.
180. Gómez-Pérez C, Font-Llagunes JM, Martori JC, Vidal Samsó J: **Gait parameters in children with bilateral spastic cerebral palsy: a systematic review of randomized controlled trials.** *Dev Med Child Neurol* 2019, **61**(7):770-782.
181. Wren TAL, Tucker CA, Rethlefsen SA, Gorton GE, 3rd, Öunpuu S: **Clinical efficacy of instrumented gait analysis: Systematic review 2020 update.** *Gait Posture* 2020, **80**:274-279.

182. Guinet AL, Desailly E: **Test de marche de six minutes (6MWT) aux enfants atteints de paralysie cérébrale. Revue de littérature et proposition d'une version adaptée.** *Motricité Cérébrale* 2018, **39**(4):119-126.
183. **ATS statement: guidelines for the six-minute walk test.** *Am J Respir Crit Care Med* 2002, **166**(1):111-117.
184. Thompson P, Beath T, Bell J, Jacobson G, Phair T, Salbach NM, Wright FV: **Test-retest reliability of the 10-metre fast walk test and 6-minute walk test in ambulatory school-aged children with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2008, **50**(5):370-376.
185. Nsenga Leunkeu A, Shephard RJ, Ahmaid S: **Six-minute walk test in children with cerebral palsy gross motor function classification system levels I and II: reproducibility, validity, and training effects.** *Arch Phys Med Rehabil* 2012, **93**(12):2333-2339.
186. Fiss AL, Jeffries L, Bjornson K, Avery L, Hanna S, Westcott McCoy S: **Developmental Trajectories and Reference Percentiles for the 6-Minute Walk Test for Children With Cerebral Palsy.** *Pediatr Phys Ther* 2019, **31**(1):51-59.
187. Fiss AL, Jeffries L, Yocum A, Westcott McCoy S: **Validity of the Early Activity Scale for Endurance and the 6-Minute Walk Test for Children With Cerebral Palsy.** *Pediatr Phys Ther* 2019, **31**(2):156-163.
188. Paap E, Net Jvd, Helders PJM, Takken T: **Physiologic response of the six-minute walk test in children with juvenile idiopathic arthritis.** *Arthritis Care & Research* 2005, **53**(3):351-356.
189. Gulmans VAM, van Veldhoven NHMJ, de Meer K, Helders PJM: **The six-minute walking test in children with cystic fibrosis: Reliability and validity.** *Pediatric Pulmonology* 1996, **22**(2):85-89.
190. Lelieveld OTHM, Takken T, van der Net J, van Weert E: **Validity of the 6-minute walking test in juvenile idiopathic arthritis.** *Arthritis Care & Research* 2005, **53**(2):304-307.
191. de Groot JF, Takken T, Gooskens RH, Schoenmakers MA, Wubbels M, Vanhees L, Helders PJ: **Reproducibility of maximal and submaximal exercise testing in "normal ambulatory" and "community ambulatory" children and adolescents with spina bifida: which is best for the evaluation and application of exercise training?** *Phys Ther* 2011, **91**(2):267-276.
192. Romeo DM, Venezia I, De Biase M, Sini F, Velli C, Mercuri E, Brogna C: **The Use of the 6MWT for Rehabilitation in Children with Cerebral Palsy: A Narrative Review.** *J Pers Med* 2022, **13**(1).
193. Geiger R, Strasak A, Treml B, Gasser K, Kleinsasser A, Fischer V, Geiger H, Loeckinger A, Stein JI: **Six-minute walk test in children and adolescents.** *J Pediatr* 2007, **150**(4):395-399, 399.e391-392.
194. MacGregor J: **The evaluation of patient performance using long-term ambulatory monitoring technique in the domiciliary environment.** *Physiotherapy* 1981, **67**(2):30-33.

195. Verschuren O, Peterson MD, Balemans AC, Hurvitz EA: **Exercise and physical activity recommendations for people with cerebral palsy.** *Dev Med Child Neurol* 2016, **58**(8):798-808.
196. Jackman M, Sakzewski L, Morgan C, Boyd RN, Brennan SE, Langdon K, Toovey RAM, Greaves S, Thorley M, Novak I: **Interventions to improve physical function for children and young people with cerebral palsy: international clinical practice guideline.** *Dev Med Child Neurol* 2022, **64**(5):536-549.
197. Chiu HC, Ada L, Bania TA: **Mechanically assisted walking training for walking, participation, and quality of life in children with cerebral palsy.** *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2020(11).
198. Willoughby KL, Dodd KJ, Shields N: **A systematic review of the effectiveness of treadmill training for children with cerebral palsy.** *Disabil Rehabil* 2009, **31**(24):1971-1979.
199. Grecco LA, Zanon N, Sampaio LM, Oliveira CS: **A comparison of treadmill training and overground walking in ambulant children with cerebral palsy: randomized controlled clinical trial.** *Clin Rehabil* 2013, **27**(8):686-696.
200. Chrysagis N, Skordilis EK, Stavrou N, Grammatopoulou E, Koutsouki D: **The effect of treadmill training on gross motor function and walking speed in ambulatory adolescents with cerebral palsy: a randomized controlled trial.** *Am J Phys Med Rehabil* 2012, **91**(9):747-760.
201. Mattern-Baxter K, McNeil S, Mansoor JK: **Effects of home-based locomotor treadmill training on gross motor function in young children with cerebral palsy: a quasi-randomized controlled trial.** *Arch Phys Med Rehabil* 2013, **94**(11):2061-2067.
202. Emara HA, El-Gohary TM, Al-Johany AA: **Effect of body-weight suspension training versus treadmill training on gross motor abilities of children with spastic diplegic cerebral palsy.** *Eur J Phys Rehabil Med* 2016, **52**(3):356-363.
203. Dodd KJ, Foley S: **Partial body-weight-supported treadmill training can improve walking in children with cerebral palsy: a clinical controlled trial.** *Dev Med Child Neurol* 2007, **49**(2):101-105.
204. Begnoche DM, Pitetti KH: **Effects of traditional treatment and partial body weight treadmill training on the motor skills of children with spastic cerebral palsy. A pilot study.** *Pediatr Phys Ther* 2007, **19**(1):11-19.
205. Cherng RJ, Liu CF, Lau TW, Hong RB: **Effect of treadmill training with body weight support on gait and gross motor function in children with spastic cerebral palsy.** *Am J Phys Med Rehabil* 2007, **86**(7):548-555.
206. Damiano DL, DeJong SL: **A systematic review of the effectiveness of treadmill training and body weight support in pediatric rehabilitation.** *J Neurol Phys Ther* 2009, **33**(1):27-44.
207. Mutlu A, Krosschell K, Spira DG: **Treadmill training with partial body-weight support in children with cerebral palsy: a systematic review.** *Dev Med Child Neurol* 2009, **51**(4):268-275.

208. Gates PE, Banks D, Johnston TE, Campbell SR, Gaughan JP, Ross SA, Engsberg JR, Tucker C: **Randomized controlled trial assessing participation and quality of life in a supported speed treadmill training exercise program vs. a strengthening program for children with cerebral palsy.** *J Pediatr Rehabil Med* 2012, **5**(2):75-88.
209. Alotaibi A, Ibrahim A, Ahmed R, Abualait T: **Effectiveness of Partial Body Weight-Supported Treadmill Training on Various Outcomes in Different Contexts among Children and Adolescents with Cerebral Palsy: A Systematic Review and Meta-Analysis.** *Children (Basel)* 2023, **11**(1).
210. Cortés-Pérez I, González-González N, Peinado-Rubia AB, Nieto-Escamez FA, Obrero-Gaitán E, García-López H: **Efficacy of Robot-Assisted Gait Therapy Compared to Conventional Therapy or Treadmill Training in Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review with Meta-Analysis.** *Sensors (Basel)* 2022, **22**(24).
211. Algabbani MF, Fagehi JM, Aljosh M, Bawazeer M, Aldaihan MM, Abdulrahman TA, Alhusaini AA: **Effect of robotic-assisted gait training program on spatiotemporal gait parameters for ambulatory children with cerebral palsy: A randomized control trial.** *NeuroRehabilitation* 2024, **55**(1):127-136.
212. Booth ATC, Buizer AI, Meyns P, Oude Lansink ILB, Steenbrink F, van der Krogt MM: **The efficacy of functional gait training in children and young adults with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis.** *Dev Med Child Neurol* 2018, **60**(9):866-883.
213. Das SP, Ganesh GS: **Evidence-based Approach to Physical Therapy in Cerebral Palsy.** *Indian J Orthop* 2019, **53**(1):20-34.
214. Han YG, Yun CK: **Effectiveness of treadmill training on gait function in children with cerebral palsy: meta-analysis.** *J Exerc Rehabil* 2020, **16**(1):10-19.

ANNEXES

ANNEXE 1



CanChild Centre for Childhood Disability Research
Institute for Applied Health Sciences, McMaster University,
1400 Main Street West, Room 408, Hamilton, ON, Canada L8S 1C7
Tel: 905-525-9140 ext. 27850 Fax: 905-524-0069
E-mail: canchild@mcmaster.ca Website: www.canchild.ca

GMFCS – E & R

Le Système de Classification de la Fonction Motrice Globale Étendu, Revu et Corrigé

GMFCS - E & R © 2007 CanChild Centre for Childhood Disability Research, McMaster University
Robert Palisano, Peter Rosenbaum, Doreen Bartlett, Michael Livingston

GMFCS © 1997 CanChild Centre for Childhood Disability Research, McMaster University
Robert Palisano, Peter Rosenbaum, Stephen Walter, Dianne Russell, Ellen Wood, Barbara Galuppi
(Reference: Dev Med Child Neurol 1997;39:214-223)

Traduit par : Laurent Bourcheix, chirurgien pédiatre et
Vincent Gautheron, médecin de médecin physique et de réadaptation

INTRODUCTION ET INSTRUCTIONS POUR L'UTILISATEUR

Le système de classification de la fonction motrice globale (GMFCS) pour la Paralyse Cérébrale est basé sur les mouvements volontaires, en mettant l'accent sur la station assise, les transferts et la mobilité. Dans la définition de ce système de classification à 5 niveaux, notre premier critère, qui permet la distinction entre les différents niveaux s'inspire des activités de la vie de tous les jours. Les différences sont basées sur les limitations ou restrictions fonctionnelles, l'appel aux aides techniques à la marche (comme un déambulateur, des cannes anglaises, ou des béquilles) ou à un appareillage de mobilité sur roues et non pas basées sur la qualité du mouvement. Les distinctions décrites entre les niveaux 1 et 2 ne sont, en aucune manière superposables aux nuances faites pour distinguer les autres niveaux entre eux, tout particulièrement chez les enfants de moins de 2 ans.

La version étendue de cette classification (GMFCS E&R; 2007) inclut une tranche d'âge supplémentaire : les adolescents de 12 à 18 ans. Elle met l'accent sur les concepts inhérents à la Classification Internationale du handicap, du Fonctionnement et de la santé (CIF), éditée sous l'égide de l'OMS. Nous encourageons les utilisateurs à être bien conscients de l'importance que peuvent avoir les paramètres personnels et environnementaux sur ces enfants et ces adolescents, sur ce qu'ils sont capables de faire lors d'une observation directe ou ce qui est relaté par eux. L'objectif principal de cette classification de la fonction motrice globale (GMFCS E&R) est de déterminer quel est le niveau décrivant le mieux les capacités et les restrictions fonctionnelles globales de l'enfant ou de l'adolescent. L'accent est porté sur les performances habituelles observées à domicile, à l'école ou en collectivité (= ce que font réellement les enfants et adolescents) et non pas ce qu'on leur prête, en termes de capacité au meilleur de leur forme. Il est cependant important de classer les performances habituelles de motricité globale et ne pas y inclure l'appréciation subjective qu'on peut avoir de la qualité du mouvement ou des hypothèses d'amélioration fonctionnelle.

L'intitulé de chaque niveau indique le mode de déplacement qui caractérise au mieux la performance réalisée après l'âge de 6 ans. La description des capacités et des restrictions fonctionnelles pour chaque tranche d'âge n'est pas exhaustive et ne peut pas prétendre décrire l'ensemble des fonctions de chaque enfant ou adolescent. Par exemple, un enfant hémiplégique qui est incapable de faire du quatre pattes, mais qui par ailleurs répond aux critères du niveau I (c'est-à-dire qu'il peut tirer sur ses bras pour se mettre debout et marcher), devrait être classé au niveau I. Cette échelle est ordinale, sans prétendre que les écarts entre les différents niveaux soient égaux ni que les enfants souffrant d'une Paralyse Cérébrale se répartissent de manière homogène parmi les 5 niveaux. Un résumé décrivant les distinctions qui existent entre deux niveaux consécutifs est fourni, afin de vous aider au classement de chaque enfant ou adolescent dans le niveau qui se rapproche le plus de ses performances

courantes de motricité globale.

Nous devons admettre le fait que l'expression clinique de la motricité globale est dépendante de l'âge, tout particulièrement chez le nourrisson et le petit enfant. Pour chaque niveau, différentes descriptions sont fournies selon la tranche d'âge. Pour les enfants, anciens prématurés, il faudra prendre en compte l'âge corrigé et ce, jusqu'à l'âge légal de 2 ans. La description des modes de mobilité qui s'appliquent aux tranches d'âges : 6-12 ans et 12-18 ans, reflète l'influence potentielle qu'ont les facteurs environnementaux (comme les trajets parcourus à l'école ou en collectivité) et les facteurs personnels (énergie requise pour réaliser un effort et affinités sociales).

Nous mettons l'accent sur les capacités fonctionnelles plutôt que sur les restrictions fonctionnelles. Ainsi on doit admettre pour principe général que pour un niveau fonctionnel donné, si l'enfant parvient à réaliser les activités décrites, il sera alors classé à ce niveau ou au niveau au-dessus ; à l'inverse, si un enfant ou un adolescent ne parvient pas à réaliser les activités décrites, il sera alors classé au niveau inférieur.

DÉFINITIONS D'USAGES

Déambulateur avec assise et soutien du tronc : Il s'agit d'une aide technique qui soutient la ceinture pelvienne (assise) et le tronc. L'enfant ou l'adolescent est installé dans le déambulateur par une autre personne.

Aide technique à la marche : Canes, béquilles, déambulateurs avec appui antérieur ou postérieur, sans soutien du tronc lors de la marche.

Assistance physique : Une autre personne aide physiquement l'enfant ou l'adolescent à se déplacer.

Aide motorisée : L'enfant ou l'adolescent actionne lui-même le joystick ou le bouton électrique de démarrage lui permettant ainsi d'être indépendant pour se déplacer. L'équipement en question peut être constitué par un fauteuil roulant électrique, un scooter électrique ou tout autre type d'équipement motorisé.

Fauteuil roulant manuel auto propulsé : L'enfant ou l'adolescent utilise l'ensemble de son membre supérieur y compris ses mains ou bien ses pieds, pour actionner les roues et ainsi se déplacer en fauteuil.

Déplacé : Une autre personne pousse l'aide technique à la mobilité (comme un fauteuil roulant manuel, une poussette, ou encore un landau) afin de déplacer l'enfant ou l'adolescent, d'un endroit à l'autre.

Marche : Sans indication particulière, ce terme signifie que la marche s'effectue sans assistance physique de la part d'une tierce personne et sans l'assistance d'une aide technique à la marche. Une orthèse (comme une attelle ou autre appareillage orthopédique) peut être portée.

Mobilité sur roues : Ce terme fait référence à tous les types d'aides techniques munis de roues qui permettent les déplacements (comme une poussette, un fauteuil roulant manuel ou électrique).

RUBRIQUE GÉNÉRALE POUR CHAQUE NIVEAU

Niveau I : Marche sans restriction de mouvements

Niveau II : Marche avec restriction de mouvements

Niveau III : Marche avec aide technique à la marche

Niveau IV : Mobilité autonome avec restriction des mouvements ; peut utiliser une aide motorisée.

Niveau V : Déplacement en fauteuil roulant manuel, poussé par un adulte.

DISTINCTIONS ENTRE DEUX NIVEAUX CONSÉCUTIFS

Distinctions entre les niveaux I et II : En comparaison avec les enfants et les adolescents classés au niveau I, ceux classés au niveau II présentent des restrictions à la marche pour les longs trajets et le maintien de leur équilibre ; ils peuvent recourir à une aide technique à la marche lors de l'apprentissage de celle-ci ; ils peuvent avoir recours à un équipement de mobilité sur roues, quand ils réalisent de longs trajets à l'extérieur et en collectivité ; ils prennent appui sur une main courante lorsqu'ils gravissent ou descendent des marches ; et ne sont pas capable de courir et de sauter aussi bien que les enfants ou adolescents classés en niveau I.

Distinctions entre les niveaux II et III : Les enfants (âgés de plus de 4 ans) et les adolescents classés au niveau II sont capables de marcher sans aide technique à la marche (cependant ils peuvent éventuellement choisir de l'utiliser de temps en temps). Les enfants et adolescents classés au niveau III ont besoin d'une aide technique à la marche pour se déplacer en intérieur et utilisent un équipement de mobilité sur roues pour leurs déplacements à l'extérieur et en collectivité.

Distinctions entre les niveaux III et IV : Les enfants et adolescents classés au niveau III s'assoient seuls ou requièrent tout au plus une assistance limitée de la part d'un tiers, ils sont plus indépendants lors des transferts qui exigent un passage en station érigée et marchent avec une aide technique. Les enfants et adolescents classés au niveau IV conservent une fonction motrice lorsqu'ils sont assis (habituellement avec support) mais leur autonomie de déplacement est limitée. Ces enfants et ces adolescents classés au niveau IV sont plus enclins à être déplacés en fauteuil roulant, ou utilisent une aide motorisée.

Distinctions entre les niveaux IV et V : Les enfants et adolescents classés au niveau V présentent de sévères restrictions du contrôle postural de la tête et du tronc et requièrent une assistance technologique importante, ainsi qu'une assistance physique. Leur mobilité autonome ne peut se réaliser qu'après avoir appris à manœuvrer un fauteuil électrique.

Le Système de Classification de la Fonction Motrice Globale Étendu, Revu et Corrigé (GMFCS – E & R)

AVANT LE 2^{ÈME} ANNIVERSAIRE

Niveau I : Les nourrissons peuvent s'asseoir et se relever de la station assise, se maintenir assis au sol sans l'aide des mains, leur permettant ainsi de manipuler des objets. Ces nourrissons font du quatre pattes, s'appuient sur un meuble avec leurs mains pour se relever et gravir des marches. Ces nourrissons acquièrent la marche entre l'âge de 18 mois et 2 ans sans aucune aide technique à la marche.

Niveau II : Les nourrissons se maintiennent assis au sol mais peuvent éventuellement avoir besoin de prendre appui sur leurs mains afin de conserver leur équilibre postural. Ces nourrissons rampent sur le ventre ou font du quatre pattes. Ils peuvent éventuellement prendre appui sur un meuble avec leurs mains pour se relever et gravir des marches.

Niveau III : Les nourrissons maintiennent la position assise au sol quand le bas du dos est maintenu. Ces nourrissons se roulent par terre et rampent vers l'avant sur le ventre.

Niveau IV : Les nourrissons conservent la tenue de la tête mais requièrent le maintien postural du tronc en position assise au sol. Ces nourrissons peuvent rouler sur le côté pour se mettre sur le dos et éventuellement, rouler sur le côté pour se mettre sur le ventre.

Niveau V : Les incapacités physiques limitent le contrôle volontaire du mouvement. Les nourrissons sont incapables de maintenir le contrôle postural anti gravitique de la tête et du tronc en décubitus ventral et en station assise. Ces nourrissons requièrent l'assistance physique d'un adulte pour se rouler par terre.

ENTRE LE 2^{ÈME} ET LE 4^{ÈME} ANNIVERSAIRE

Niveau I : Les enfants se maintiennent assis au sol sans l'aide de leurs mains, leur permettant ainsi de manipuler des objets. Les mouvements leur permettant de s'asseoir et de se relever pour se mettre debout sont réalisés sans l'assistance d'un adulte. Ces enfants choisissent la marche comme mode de déplacement préféré sans avoir recours à une aide technique à la

marche, quelle qu'elle soit.

Niveau II : Les enfants se maintiennent assis au sol mais peuvent avoir des difficultés pour contrôler leur posture, lorsque leurs deux mains sont occupées à manipuler des objets. Les mouvements leur permettant de s'asseoir et de se relever sont réalisés sans l'assistance d'un adulte. Ces enfants prennent appui sur un plan stable pour se relever. Ils font du quatre pattes selon un schéma de réciprocité (deux à deux avec coordination bras/jambe), déambulent lentement le long des meubles en prenant appui sur ceux-ci ; leur mode de déambulation préféré est la marche avec une aide technique à la marche.

Niveau III : Les enfants se maintiennent assis au sol, souvent en position dite de la grenouille ("*Sitting frog*", assis les fesses entre les cuisses, les hanches en rotation interne et les genoux fléchis) et peuvent éventuellement avoir recours à l'assistance d'un adulte pour s'installer en position assise. Ces enfants rampent sur le ventre ou font du quatre pattes (souvent en asymétrie des mouvements des membres inférieurs) ceci représente leur mode principal de déplacement. Ils peuvent éventuellement prendre appui sur une surface stable pour se relever et déambuler lentement sur de courtes distances. Ils peuvent éventuellement marcher sur de courtes distances en intérieur avec une aide technique à la marche (déambulateur) et avec l'assistance d'un adulte pour se diriger et tourner.

Niveau IV : Les enfants peuvent se tenir assis au sol après qu'on les a installés, mais ils sont incapables de maintenir leur alignement et leur équilibre sans prendre appui au sol avec leurs mains. Ces enfants requièrent assez souvent un équipement adapté pour maintenir la position assise ou la station érigée. Une mobilité autonome pour de courtes distances (dans une chambre) est réalisée par roulades au sol, en rampant sur le ventre, ou encore à quatre pattes avec asymétrie des mouvements des membres inférieurs.

Niveau V : Les incapacités physiques restreignent le contrôle volontaire des mouvements et la faculté de maintenir le contrôle postural anti gravitique de la tête et du tronc. Tous les domaines de la motricité sont limités. Les limites fonctionnelles en position assise et lors de la station érigée ne sont pas entièrement compensées par l'utilisation d'équipements adaptés et de technologies d'assistance. Au niveau V, ces enfants n'ont aucun moyen leur permettant une autonomie de déplacement et sont déplacés par un adulte. Quelques enfants conservent tout de même une mobilité autonome, grâce à un fauteuil électrique auquel sont adjointes de multiples adaptations techniques.

ENTRE LE 4^{ÈME} ET LE 6^{ÈME} ANNIVERSAIRE

Niveau I : Les enfants s'assoient et se relèvent d'une chaise et y restent assis, sans prendre appui avec leurs mains. Ces enfants se relèvent du sol ou d'une chaise pour se mettre debout sans prendre appui sur des objets. Ils marchent à l'intérieur comme à l'extérieur, gravissent et descendent des marches. Les capacités à courir et à sauter commencent à apparaître.

Niveau II : Les enfants maintiennent la position assise sur une chaise sans l'aide des mains, leur permettant ainsi de manipuler des objets. Ces enfants se mettent debout à partir d'une station au sol ou depuis une chaise sur laquelle ils sont assis, mais ils requièrent souvent l'aide d'une surface stable pour s'y appuyer ou se hisser avec leurs bras. Ils marchent sans l'assistance d'aide technique à la marche en intérieur et pour de courtes distances à l'extérieur sur terrain plat. Ils gravissent des marches en prenant appui sur une main courante, mais sont incapables de courir ou de sauter.

Niveau III : Les enfants s'assoient sur une chaise standard mais doivent bénéficier d'un support pour le maintien de la ceinture pelvienne et du tronc, afin d'optimiser leur fonction manuelle. Ces enfants s'assoient et se relèvent d'une chaise en utilisant une surface stable pour s'y appuyer ou se hisser avec leurs bras. Ils marchent avec une aide technique à la marche sur une surface plane et gravissent des marches avec l'assistance d'un adulte. Ils sont le plus souvent déplacés en fauteuil roulant par un adulte, pour de longs trajets, ou en extérieur sur un terrain accidenté.

Niveau IV : Les enfants s'assoient sur une chaise mais ont besoin d'un siège adapté pour le contrôle de la posture du tronc, afin d'optimiser leur fonction manuelle. Ces enfants s'assoient et se relèvent d'une chaise avec l'assistance d'un adulte ou en utilisant une surface stable pour s'y appuyer ou se hisser avec leurs bras. Ils peuvent éventuellement, tout au plus marcher sur de courtes distances à l'aide d'un déambulateur et sous la surveillance d'un adulte, mais ils ont des difficultés à tourner et à maintenir leur équilibre sur une surface accidentée. Ces enfants sont déplacés par un adulte en collectivité. Ils peuvent éventuellement réaliser des déplacements autonomes, grâce à un fauteuil roulant électrique.

Niveau V : Les incapacités physiques restreignent le contrôle volontaire du mouvement et la faculté de maintenir le contrôle postural anti gravitique de la tête et du tronc. Tous les domaines de la motricité sont limités. Les restrictions fonctionnelles en position assise et en station érigée ne sont pas entièrement compensées par l'utilisation d'équipements adaptés et de technologies d'assistance. Au niveau V, ces enfants n'ont aucun moyen leur permettant une autonomie de déplacement et sont déplacés par un adulte. Quelques enfants conservent tout de même une mobilité autonome grâce à un fauteuil électrique auquel sont adjointes de multiples adaptations techniques.

ENTRE LE 6^{ÈME} ET LE 12^{ÈME} ANNIVERSAIRE

Niveau I : Les enfants marchent à domicile, à l'école, à l'extérieur et en collectivité. Ces enfants sont capables de monter et de descendre d'un trottoir sans assistance et de gravir et de descendre des marches sans utiliser une main courante. Ils réalisent des performances de motricité globale comme courir et sauter, mais la vitesse d'exécution, le maintien de l'équilibre et la coordination des mouvements sont limités. Ces enfants peuvent éventuellement participer à des activités physiques et sportives ; celles-ci dépendent de leurs choix personnels et des facteurs environnementaux.

Niveau II : Les enfants marchent dans la plupart des situations. Ces enfants peuvent éventuellement être confrontés à des difficultés pour marcher sur de longues distances et maintenir leur équilibre en terrain accidenté, sur des plans inclinés, au milieu de la foule, au sein d'espaces confinés ou encore lorsqu'ils portent des objets. Ils gravissent et descendent des marches en prenant appui sur une main courante ou, si elle est absente, avec une assistance physique. À l'extérieur et en collectivité, ces enfants peuvent éventuellement marcher, soit avec une assistance physique, soit avec une aide technique à la marche, ou encore utilisent un équipement de mobilité sur roues pour parcourir de longues distances. Ces enfants présentent au mieux une activité minimale pour effectuer des performances de motricité globale comme courir et sauter. Les restrictions pour effectuer des performances de motricité globale peuvent éventuellement nécessiter des adaptations techniques afin de rendre possible une participation à des activités physiques et sportives.

Niveau III : Les enfants utilisent une aide technique à la marche dans la plupart des situations, en intérieur. Lorsqu'ils sont assis, ces enfants peuvent éventuellement avoir recours à une ceinture de sécurité pour leur permettre un alignement de la ceinture pelvienne et le maintien de leur équilibre. Les transferts qui consistent à passer de la station assise à érigée, ou d'une station au sol à érigée, requièrent l'assistance physique de la part d'un tiers ou la présence d'un support stable sur lequel l'enfant puisse prendre appui. Lorsqu'ils effectuent de longs déplacements, ils utilisent un équipement de mobilité sur roues. Ces enfants peuvent gravir ou descendre des marches en prenant appui sur une main courante sous la surveillance d'un adulte ou avec une assistance physique. Les restrictions à la marche peuvent nécessiter des adaptations techniques afin de rendre possible la participation à des activités physiques et sportives ; ce qui comprend aussi le fait de propulser son fauteuil roulant manuel ou d'utiliser une aide motorisée.

Niveau IV : Les enfants utilisent des modes de déplacement qui requièrent une assistance physique ou une aide motorisée pour la plupart des situations. Ces enfants requièrent un siège adapté pour le contrôle postural de la ceinture pelvienne et du tronc et une assistance physique pour la plupart des transferts. À domicile, ils utilisent un mode de déplacement au sol (enroulade, en se trainant, ou en rampant), marchent sur de courtes distances avec une assistance physique, ou utilisent une aide motorisée. Une fois installés, ces enfants peuvent utiliser un déambulateur avec une assise et un soutien du tronc et ce, à domicile et à l'école. À l'école, en extérieur ou en collectivité, ils sont déplacés en fauteuil roulant manuel poussé par un adulte, ou utilisent une aide motorisée. Les restrictions de mobilité rendent nécessaires des adaptations techniques, afin de permettre la participation à des activités physiques et sportives ; ce qui comprend aussi le fait d'avoir recours à une assistance physique et/ou une aide motorisée.

Niveau V : Les enfants sont déplacés en fauteuil roulant manuel poussé par un adulte au cours de toutes les situations. Ces enfants sont limités dans la faculté de maintenir le contrôle postural anti gravitique de la tête et du tronc et le contrôle volontaire des mouvements des bras et des jambes. Une technologie d'assistance est mise en place, afin d'améliorer l'alignement de la tête, l'assise, la station érigée et/ou la mobilité, mais les restrictions ne sont pas entièrement compensées par l'équipement. Les transferts requièrent l'assistance totale de la part d'un adulte. À domicile, ces enfants peuvent éventuellement se déplacer au sol sur de courtes distances où doivent être portés par un adulte. Ils peuvent éventuellement réaliser des déplacements autonomes en utilisant une aide motorisée, associée à de multiples adaptations techniques pour l'assise et l'accessibilité. Les restrictions de mobilité rendent nécessaires des adaptations techniques, afin de permettre la participation à des activités physiques et sportives ; ce qui comprend aussi le fait d'avoir recours à une assistance physique et à l'utilisation d'une aide motorisée.

ENTRE LE 12^{ÈME} ET LE 18^{ÈME} ANNIVERSAIRE

Niveau I : Les adolescents marchent à domicile, à l'école, à l'extérieur et en collectivité. Ces adolescents sont capables de monter et de descendre d'un trottoir sans assistance et de gravir et descendre des marches sans utiliser une main courante. Ils effectuent des performances de motricité globale comme courir et sauter, mais la vitesse d'exécution, le maintien de l'équilibre et la coordination des mouvements sont limités. Ces adolescents peuvent éventuellement participer à des activités physiques et sportives, celles-ci dépendent de leurs choix personnels et des facteurs environnementaux.

Niveau II : Les adolescents marchent dans la plupart des situations. Des facteurs environnementaux et des préférences personnelles influencent leurs choix du mode de déplacement. On entend par facteurs environnementaux : un terrain accidenté, des plans inclinés, de longs trajets, des exigences chronométrées, la météo et la tolérance des autres adolescents du même âge. À l'école ou au travail, ces adolescents peuvent éventuellement marcher avec une aide technique à la marche par sécurité. En extérieur et en collectivité, les adolescents peuvent éventuellement utiliser un équipement de mobilité sur roues pour parcourir de longues distances. Ils gravissent et descendent des marches en prenant appui sur une main courante, dans le cas où celle-ci serait manquante, avec une assistance physique. Les restrictions pour effectuer des performances de motricité globale peuvent nécessiter des adaptations techniques afin de rendre possible une participation à des activités physiques et sportives.

Niveau III : Les adolescents sont capables de marcher en utilisant une aide technique à la marche. Par comparaison, vis à vis des autres adolescents, ceux classés au niveau III font preuve d'une variabilité plus grande dans l'emploi des méthodes de déplacements, celles-ci dépendent de leur capacité physique propre, des facteurs environnementaux et personnels. Lorsqu'ils sont assis, ces adolescents peuvent éventuellement avoir recours à une ceinture de sécurité pour leur permettre un alignement de la ceinture pelvienne et le maintien de l'équilibre. Les transferts, qui consistent à passer de la station assise à érigée, ou d'une station au sol à érigée, requièrent l'assistance physique de la part d'un tiers ou la présence d'un support stable sur lequel l'adolescent puisse prendre appui. À l'école, ces adolescents peuvent éventuellement propulser leur fauteuil roulant manuel ou utiliser une aide motorisée. À l'extérieur et en collectivité, ils sont déplacés en fauteuil roulant où ils utilisent une aide motorisée. Ces adolescents peuvent éventuellement gravir et descendre des marches en prenant appui sur une main courante sous surveillance ou avec une assistance physique. Les restrictions à la marche peuvent éventuellement nécessiter des adaptations techniques, afin de rendre possible la participation à des activités physiques et sportives ; qui comprennent aussi le fait de propulser son fauteuil roulant manuel ou d'utiliser une aide motorisée.

Niveau IV : Les adolescents utilisent un équipement de mobilité sur roues pour se déplacer dans la plupart des situations. Ces adolescents requièrent un siège adapté pour le contrôle postural de la ceinture pelvienne et du tronc. Pour les transferts, ils requièrent l'assistance d'une ou deux personnes. Afin d'aider lors des transferts, ces adolescents peuvent éventuellement supporter leur poids du corps en station érigée. En intérieur, ils peuvent parcourir de courts trajets avec une assistance physique, utiliser un équipement de mobilité sur roues, ou après avoir été installé, ils utilisent un déambulateur avec assise et maintien du tronc. Ces adolescents sont physiquement capables de manœuvrer un fauteuil roulant électrique. Quand l'emploi d'un fauteuil roulant électrique s'avère impossible ou que celui-ci est indisponible, ils sont déplacés en fauteuil roulant manuel par un adulte. Les restrictions de mobilité rendent nécessaires des adaptations techniques, afin de permettre la participation à des activités physiques et sportives ; ce qui comprend aussi le fait d'avoir recours à une assistance physique et/ou à une aide motorisée.

Niveau V : Les adolescents sont déplacés en fauteuil roulant manuel dans toutes les situations. Ces adolescents sont limités dans leur capacité à maintenir le contrôle postural anti gravitique de la tête et du tronc et pour le contrôle volontaire des mouvements des bras et des jambes. Une technologie d'assistance est mise en place afin d'améliorer l'alignement de la tête, l'assise, la station érigée et/ou la mobilité mais les restrictions ne sont pas entièrement compensées par l'équipement. Les transferts requièrent une assistance totale de la part d'un adulte, ou l'utilisation d'un lève malade mécanique. Ils peuvent réaliser des déplacements autonomes en utilisant une aide motorisée, associée à de multiples adaptations techniques pour l'assise et l'accessibilité. Les restrictions de mobilité rendent nécessaires des adaptations techniques, afin de permettre la participation à des activités physiques et sportives ; ce qui comprend aussi le fait d'avoir recours à une assistance physique et à l'utilisation d'une aide motorisée.

ANNEXE 2

Information aux utilisateurs

Le système de classification des habiletés manuelles (MACS) décrit comment les enfants avec la paralysie cérébrale (PC) utilisent leurs mains pour manipuler des objets dans leurs activités quotidiennes. MACS décrit cinq niveaux. Les niveaux se basent sur les habiletés des enfants à auto-initier des habiletés afin de manipuler des objets et leur besoin d'assistance ou d'adaptation pour exécuter des activités manuelles de la vie de tous les jours. La brochure du MACS décrit aussi les différences entre les niveaux adjacents afin de déterminer plus facilement quel niveau correspond le mieux avec l'habileté de l'enfant à manipuler les objets.

Les objets réfèrent à ceux qui sont pertinents et appropriés à l'âge des enfants, utilisés quand ils exécutent les tâches tel que manger, s'habiller, jouer, dessiner ou écrire. Ce sont les objets qui font partie de l'espace personnel de l'enfant, qui se réfèrent à lui, à l'opposé des objets qui sont au delà de leur portée. Les objets utilisés dans les activités avancées qui requièrent des habiletés spéciales, tel que jouer d'un instrument, ne sont pas pris en considération.

Lors de la détermination du niveau MACS d'un enfant, choisissez le niveau qui décrit le mieux l'ensemble de la performance habituelle de l'enfant à la maison, l'école ou dans la communauté. La motivation de l'enfant et les habiletés cognitives affectent aussi l'habileté à manipuler des objets et par conséquent influencent le niveau du MACS. Afin d'obtenir des informations sur comment un enfant manipule une variété d'objets de tous les jours, il est nécessaire de demander à quelqu'un qui connaît bien l'enfant. MACS entend à classifier ce que les enfants font habituellement, pas leur meilleure performance possible dans une situation d'évaluation spécifique.

MACS est une description fonctionnelle qui peut être utilisée de façon à être en complément au diagnostic de paralysie cérébrale et ses sous types. MACS évalue l'ensemble des habiletés des enfants à manipuler des objets de tous les jours, pas le fonctionnement de chaque main séparément ou la qualité des choses comme la préhension de l'enfant. MACS ne prend pas en considération les différences de fonctionnement entre les deux mains; au lieu, il adresse comment les enfants manipulent les objets en fonction de leur âge. MACS n'entend pas à expliquer les raisons sous-jacentes aux habiletés manuelles réduites.

MACS peut être utilisé pour les enfants âgés de 4-18 ans, mais certains concepts doivent être mis en relation avec l'âge de l'enfant. Naturellement, il y a une différence entre les objets qu'un enfant de 4 ans devrait être capable de manipuler, comparé avec un adolescent. La même chose s'applique avec l'autonomie, un jeune enfant a besoin davantage d'aide et de supervision qu'un enfant plus âgé.

MACS couvre l'étendue entière des limitations fonctionnelles trouvées chez les enfants avec la paralysie cérébrale et couvre tous les sous diagnostics. Certains sous diagnostics peuvent être trouvés à tous les niveaux du MACS, tel que la paralysie cérébrale bilatérale, tandis que d'autres ne se retrouvent qu'à quelques niveaux, tel que la paralysie cérébrale unilatérale. Le niveau I inclut les enfants avec des limitations mineures, tandis que les enfants avec des limitations fonctionnelles sévères se retrouveront généralement aux niveaux IV et V. Si les enfants ayant un développement typique avaient à être classifiés tel que prévu par MACS, toutefois, un niveau « 0 » serait nécessaire.

De plus, chaque niveau inclut des enfants avec une fonction relativement variée. Il est peu probable que MACS soit sensible au changement avant et après une intervention; en toute probabilité, les niveaux du MACS sont stables dans le temps.

Les cinq niveaux du MACS forment une échelle ordinale, ce qui veut dire que les niveaux sont « ordonnés » mais les différences entre les niveaux ne sont pas nécessairement égales, ni sont les enfants avec la paralysie cérébrale également distribués à travers les cinq niveaux.

Traduction au français: Noémi Dahan-Oliel, erg, MSc et Marie Brossard-Racine, erg, candidates au doctorat.
Subventionné par Annette Majnemer, erg, PhD, FCAHS, Hôpital de Montréal pour enfants- Centre Universitaire de Santé McGill.

Eliasson AC, Krumlinde Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Amer M, Öhrvall AM, Rosenbaum P. The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability Dev Med Child Neurol 2006 48:549-554

Courriel : Ann-Christin.Eliasson@ki.se



Manual Ability Classification System Système de classification de la capacité manuelle pour enfants atteints de paralysie cérébrale âgés de 4 à 18 ans

MACS classifie comment les enfants avec la paralysie cérébrale utilisent leurs mains pour manipuler des objets dans les activités quotidiennes.

- MACS décrit comment les enfants utilisent habituellement leurs mains pour manipuler des objets dans la maison, l'école et la communauté (ce qu'ils font), plutôt que ce qui est connu comme étant leur meilleure capacité.
- Afin d'obtenir les renseignements à propos de comment un enfant manipule une variété d'objets de tous les jours, il est nécessaire de demander à quelqu'un qui connaît bien l'enfant plutôt que par un test spécifique.
- Les objets que l'enfant manipule devraient être considérés d'une perspective qui est appropriée en fonction de leur âge.
- MACS classifie l'habileté globale de l'enfant à manipuler les objets, pas chaque main séparément.

Mars 2005, révisé en 2010



Ce que vous devez savoir pour utiliser MACS?

L'habilité de l'enfant à manipuler les objets dans les activités importantes de la vie quotidienne, par exemple pendant le jeu et les loisirs, l'alimentation et à l'habillement.

Dans lesquelles de ces situations l'enfant est autonome et à quel point a-t-il/elle besoin de support et d'adaptation.

- I. **Manipule les objets facilement et avec succès.** Au plus, a des limitations dans l'aisance à exécuter des tâches manuelles qui requièrent de la vitesse et de l'exactitude. Par contre, n'importe quelle limitation dans les habiletés manuelles ne restreint pas l'autonomie dans les activités quotidiennes.
- II. **Manipule la plupart des objets mais avec une certaine diminution de la qualité et/ou vitesse de complétion.** Certaines activités peuvent être évitées ou complétées mais avec une certaine difficulté; des façons alternatives de performance peuvent être utilisées, mais les habiletés manuelles ne restreignent habituellement pas l'autonomie dans les activités quotidiennes.
- III. **Manipule les objets avec difficulté; a besoin d'aide pour préparer et/ou modifier les activités.** La performance est lente et complétée avec un succès limité en ce qui concerne la qualité et la quantité. Les activités sont exécutées de façon autonome si elles ont été organisées préalablement ou adaptées.
- IV. **Manipule une sélection limitée d'objets faciles à utiliser dans des situations adaptées.** Exécute des parties d'activités avec effort et un succès limité. Requier un support continu et de l'assistance et/ou de l'équipement adapté, même pour une réalisation partielle de l'activité.
- V. **Ne manipule pas les objets et a une habileté sévèrement limitée pour performer même des actions simples.** Requier une assistante totale.

Distinction entre les Niveaux I et II

Les enfants dans le Niveau 1 peuvent avoir des limitations lors de la manipulation d'objets très petits, lourds ou des objets fragiles qui demandent un contrôle moteur fin détaillé, ou une coordination efficace entre les deux mains. Les limitations peuvent aussi être impliquées lors de situations nouvelles et non familières. Les enfants dans le Niveau II réussissent presque les mêmes activités que les enfants du Niveau I, mais la qualité de la performance est diminuée ou la performance est plus lente. Les différences fonctionnelles entre les mains peuvent limiter l'efficacité de la performance. Les enfants dans le Niveau II essaient fréquemment de simplifier la manipulation d'objets, par exemple en utilisant une surface pour le support plutôt que de manipuler les objets avec les deux mains.

Distinction entre les Niveaux II et III

Les enfants dans le Niveau II manipulent la plupart des objets, toutefois plus lentement ou avec une performance réduite en qualité. Les enfants du Niveau III ont régulièrement besoin d'aide pour préparer l'activité et/ou requièrent que des ajustements soient faits dans l'environnement vu que leur habileté à rejoindre ou à manipuler les objets est limitée. Ils ne peuvent pas compléter certaines activités et leur degré d'autonomie est relié au support du contexte environnemental.

Distinction entre les Niveaux III et IV

Les enfants du Niveau III peuvent exécuter des activités sélectionnées si la situation est pré-arrangée et si ils reçoivent de la supervision et beaucoup de temps. Les enfants du Niveau IV ont besoin d'aide continue pendant l'activité et peuvent au mieux participer de façon significative dans uniquement certaines parties de l'activité.

Distinction entre les Niveaux IV et V

Les enfants du Niveau IV exécutent une partie de l'activité, par contre, ils ont besoin d'aide continuellement. Les enfants du Niveau V peuvent au mieux participer avec un mouvement simple dans des situations spéciales, ex : en poussant un bouton ou occasionnellement en tenant des objets peu exigeants.

ANNEXE 3



Le système de classification des fonctions de communication (SCFC) les individus atteints de paralysie cérébrale



But

Le **but** du SCFC est de classer les **performances de la communication quotidienne** d'un individu atteint de paralysie cérébrale dans l'un des cinq niveaux. Le SCFC cible les niveaux d'activité et de participation tels que décrit dans la Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Instructions pour l'utilisateur

Un parent, un soignant, et/ou un professionnel qui est familier avec la communication de la personne sélectionne le niveau de performance de communication. Les adultes et les adolescents atteints de paralysie cérébrale peuvent aussi classer leur performance de communication. **L'efficacité globale** de la performance de la communication **doit être basée sur la manière dont ils participent habituellement à des situations quotidiennes exigeant une communication**, plutôt que sur leur meilleure capacité. Ces situations peuvent se produire tous les jours au domicile, à l'école et dans la communauté.

Certaines communications peuvent être difficiles à classer si la performance se situe à plus d'un niveau. Dans ces cas, choisissez le niveau qui **décrit le mieux** la performance habituelle de la personne **dans la plupart des milieux**. Ne considérez pas la perception de la capacité, la cognition et/ou la motivation de l'individu lors de la sélection d'un niveau.

Définitions

La communication se produit lorsque **l'émetteur** transmet un message **et** un **récepteur** comprend le message. Un **communicateur efficace alterne** indépendamment **en tant qu'un émetteur et un récepteur** quel que soit les exigences d'une conversation, y compris les milieux (par exemple; communauté, école, travail, domicile), les partenaires de conversation, et les sujets.

La performance de toutes **les méthodes de communication** est considérée pour déterminer le niveau du SCFC. Celles-ci comprennent l'usage de la parole, les gestes, les comportements, le regard, les expressions faciales, et la communication suppléante et alternative (**CSA**). Les systèmes de CSA comprennent (mais ne sont pas limités à) les signes manuels, les photos, les tableaux de communication, les livres de communication, et les dispositifs parlant - parfois appelés appareils à sortie vocale ou appareils de communication par synthèse vocale.

Les distinctions entre les niveaux sont basées sur la performance des **rôles d'émetteur et de récepteur**, le rythme de la communication, et le **type de partenaire de communication**. Les définitions suivantes devraient être gardées en tête lors de l'utilisation de ce système de classification.

Les émetteurs et les receveurs efficaces changent rapidement et facilement entre la

transmission et la compréhension des messages. Afin de clarifier ou de réparer les malentendus, l'expéditeur et le récepteur efficace peuvent utiliser ou demander des stratégies telles que la répétition, la reformulation, la simplification, et/ou élargir le message. Pour accélérer les échanges de communication, en particulier lors de l'utilisation de CSA, un expéditeur efficace peut décider, avec raison, d'utiliser des messages moins grammaticalement corrects en laissant de côté ou en raccourcissant des mots avec des partenaires familiers de communication.

Un **rythme confortable** de communication se réfère à la rapidité et à la facilité pour la personne à comprendre et transmettre des messages. Un rythme confortable se produit avec peu de bris de communication et peu de temps d'attente entre les tours de communication.

Des partenaires conversationnels non familiers sont des étrangers ou des connaissances qui communiquent qu'occasionnellement avec la personne.

Des partenaires conversationnels familiers tels que les parents, les soignants et les amis peuvent être en mesure de communiquer plus efficacement avec la personne à cause des connaissances antérieures et expériences personnelles.



Le système de classification des fonctions de communication (SCFC) les individus atteints de paralysie cérébrale



Précisions

- ★ La détermination du niveau du SCFC **ne requiert pas l'utilisation de test**, et ne remplace pas les évaluations de communication standardisées. Le SCFC n'est pas un test
- ★ Le SCFC **regroupe les gens par l'efficacité** de la performance de la communication actuelle. Il **n'explique aucune des raisons sous-jacentes** au degré d'efficacité telles que des problèmes cognitifs, motivationnels, physiques, de la parole, de l'ouïe, et/ou de langage.
- ★ Le SCFC **n'évalue pas le potentiel de la personne à s'améliorer**.
- ★ Le SCFC peut être **utile en recherche et dans la prestation de services**, lors du classement efficacité de la communication est importante.
Voici quelques exemples:
 - 1) décrire les performances de communication fonctionnelle en utilisant un langage commun entre les professionnels et les profanes,
 - 2) reconnaître l'utilisation de toutes les méthodes de communication efficaces, y compris la CSA,
 - 3) comparer la façon dont les différents environnements de communication, partenaires et/ou tâches de communication peuvent affecter le niveau choisi,
 - 4) choisir des objectifs pour améliorer l'efficacité des communications de la personne

- ★ Voir page 3 pour une description des cinq niveaux.
- ★ Voir page 4 pour un tableau aidant à distinguer les niveaux.
- ★ Une liste des questions fréquemment posées se retrouve sur le site Web du SCFC au <http://CFCS.us>

Méthodes de communication

Peu importe le nombre de méthodes de communication utilisées, **seulement 1 niveau du SCFC est attribué à la performance globale de communication**. La boîte ci-dessous est fournie afin d'énumérer toutes les méthodes de communication utilisées.

Les **méthodes de communication** suivantes sont utilisées par cet individu:
(*Veillez cocher toutes les cases qui s'appliquent*)

- Parole
- Sons (comme un «aaaah» pour attirer l'attention d'un partenaire)
- Regard, expressions faciales, gesticuler et/ou pointer (par exemple, avec une partie du corps, un bâton, laser)
- Signes manuels
- Cahier de communication, tableaux et /ou des images
- Dispositif de sortie vocale ou un dispositif de génération de la parole
- Autre

Référence pour le développement du SCFC:

Hidecker, M.J.C., Paneth, N., Rosenbaum, P.L., Kent, R.D., Lillie, J., Eulenberg, J.B., Chester, K., Johnson, B., Michalsen, L., Evatt, M., & Taylor, K. (2011). Developing and validating the Communication Function Classification System (CFCS) for individuals with cerebral palsy, *Developmental Medicine and Child Neurology*, 53(8), 704-710. doi: 10.1111/j.1469-8749.2011.03996.x, PMC3130799.

Traduit par: Marie Brien, mbrien@octc.ca, Chantal Lauzon, clauzon@octc.ca, Centre de traitement pour enfants d'Ottawa



Le système de classification des fonctions de communication (SCFC) les individus atteints de paralysie cérébrale

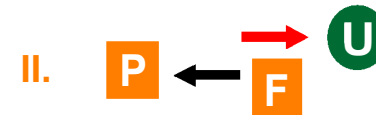
Clé	
P	Personne avec PC
U	Partenaire non familial
F	Partenaire familial
—	Efficace
••••	Moins efficace

I. Émetteur et récepteur efficace avec des partenaires inconnus et familiers. La personne alterne de façon indépendante entre les rôles d'émetteur et de récepteur avec la plupart des gens dans la plupart des environnements. La communication se produit facilement et à un **rythme confortable** avec des **partenaires de conversation à la fois non familiers et familiers**. Les bris de communication sont rapidement réparés et n'interfèrent pas avec l'efficacité globale de la communication de la personne.



La différence entre les niveaux I et II est le **rythme** de la conversation. **Au niveau I**, la personne communique à un rythme confortable avec peu ou aucun délai afin de comprendre, composer un message, ou réparer un malentendu. **Au niveau II**, la personne a besoin de plus de temps au moins occasionnellement.

II. Émetteur et/ou récepteur efficace, mais ayant un rythme plus lent avec des partenaires inconnus et/ou familiers. La personne alterne de façon indépendante entre les rôles d'émetteur et de récepteur avec la plupart des gens dans la plupart des environnements, mais le **rythme de la conversation est lent** et peut rendre l'interaction plus difficile. La personne peut avoir besoin de temps supplémentaire pour comprendre les messages, composer des messages, et/ou réparer des malentendus. Les bris de communication sont souvent réparés et n'interfèrent pas avec l'efficacité globale de la communication de la personne à la fois avec des **partenaires non familiers et familiers**.



Les différences entre les niveaux II and III porte sur le **rythme et le type de partenaires conversationnels**. **Au niveau II**, la personne est un émetteur et récepteur avec tous les partenaires conversationnels, mais le rythme est un problème. **Au niveau III**, la personne est constamment efficace avec des partenaires conversationnels familiers mais pas avec la plupart des partenaires non familiers.

III. Émetteur et récepteur efficace avec des partenaires familiers. La personne alterne entre les rôles d'émetteur et de récepteur avec des **partenaires familiers** (mais non inconnus) de conversation dans la plupart des environnements. La communication n'est pas toujours efficace avec la plupart des partenaires inconnus, mais elle est généralement efficace avec les **partenaires familiers**.



La différence entre les niveaux III et IV est à **quel point la personne alterne de façon constante entre les rôles d'émetteur et de récepteur avec des partenaires familiers**. **Au niveau III**, la personne est généralement capable de communiquer avec des partenaires familiers en tant qu'émetteur et en tant que récepteur. **Au niveau IV**, la personne ne communique pas avec des partenaires familiers de façon constante. Cette difficulté peut être à émettre ou à recevoir.

IV. Émetteur et/ou le récepteur inconsistant avec des partenaires familiers. La personne n'alterne **pas** de façon constante entre les rôles d'émetteur et de récepteur. Ce type d'incohérence peut être rencontré chez les différents types de communicateurs, y compris: a) un émetteur et un récepteur parfois efficaces, b) un émetteur efficace, mais un récepteur limité; c) un émetteur limité, mais un récepteur efficace. La communication est **parfois efficace** avec des **partenaires familiers**.



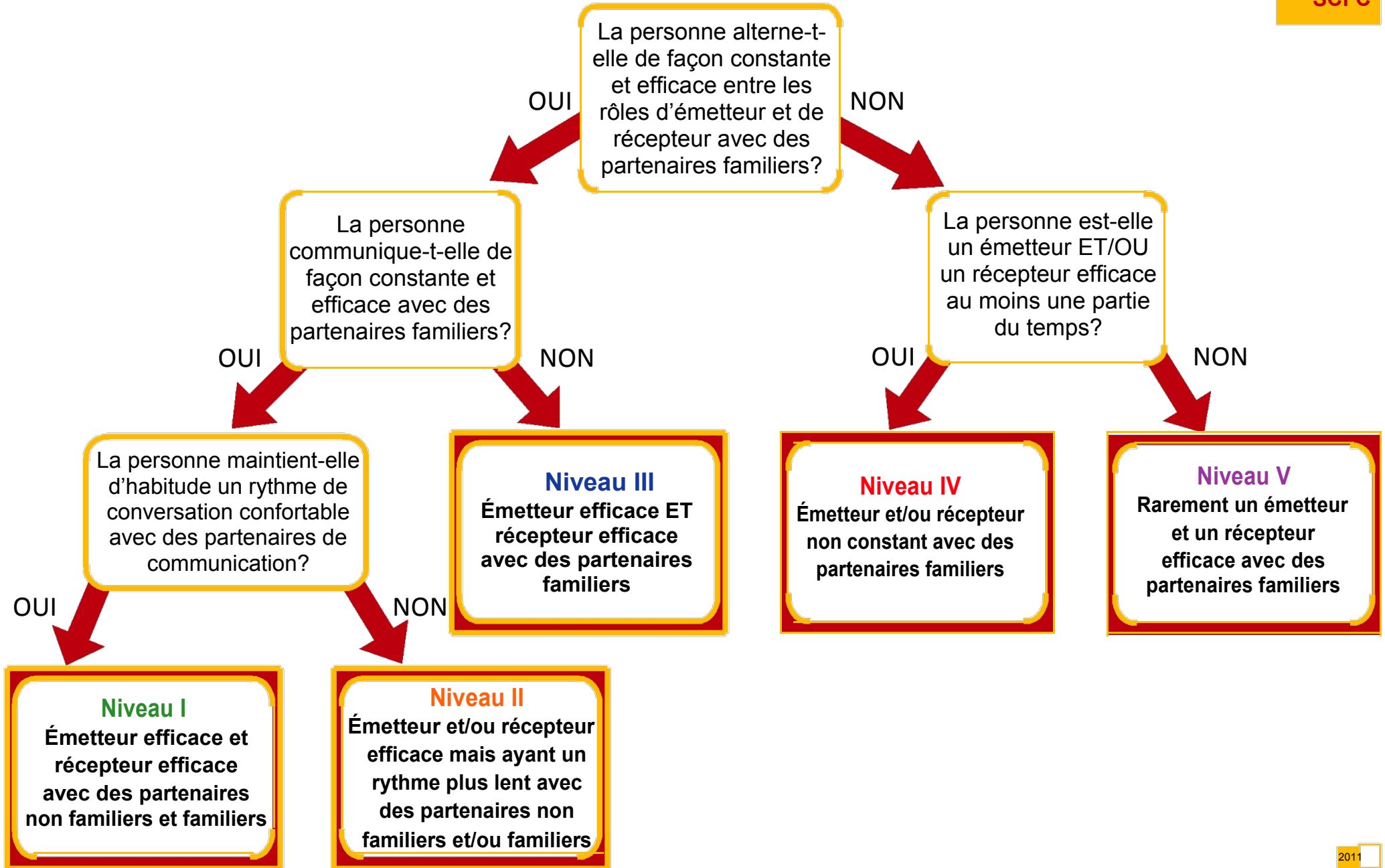
La différence entre les niveaux IV et V est le **degré de difficulté que possède la personne à communiquer avec des partenaires familiers**. **Au niveau IV**, la personne possède un peu de succès en tant qu'émetteur efficace et/ou récepteur efficace avec des partenaires familiers. **Au niveau V**, la personne est rarement capable de communiquer de façon efficace, même avec des partenaires familiers.

V. Rarement un émetteur ou un récepteur efficace, même avec des partenaires familiers. La communication de la personne est limitée à la fois en tant qu'émetteur et récepteur. La communication de la personne est difficile à comprendre pour la plupart des gens. La personne semble avoir une compréhension limitée des messages de la plupart des gens. La communication est **rarement efficace**, même avec des **partenaires familiers**.



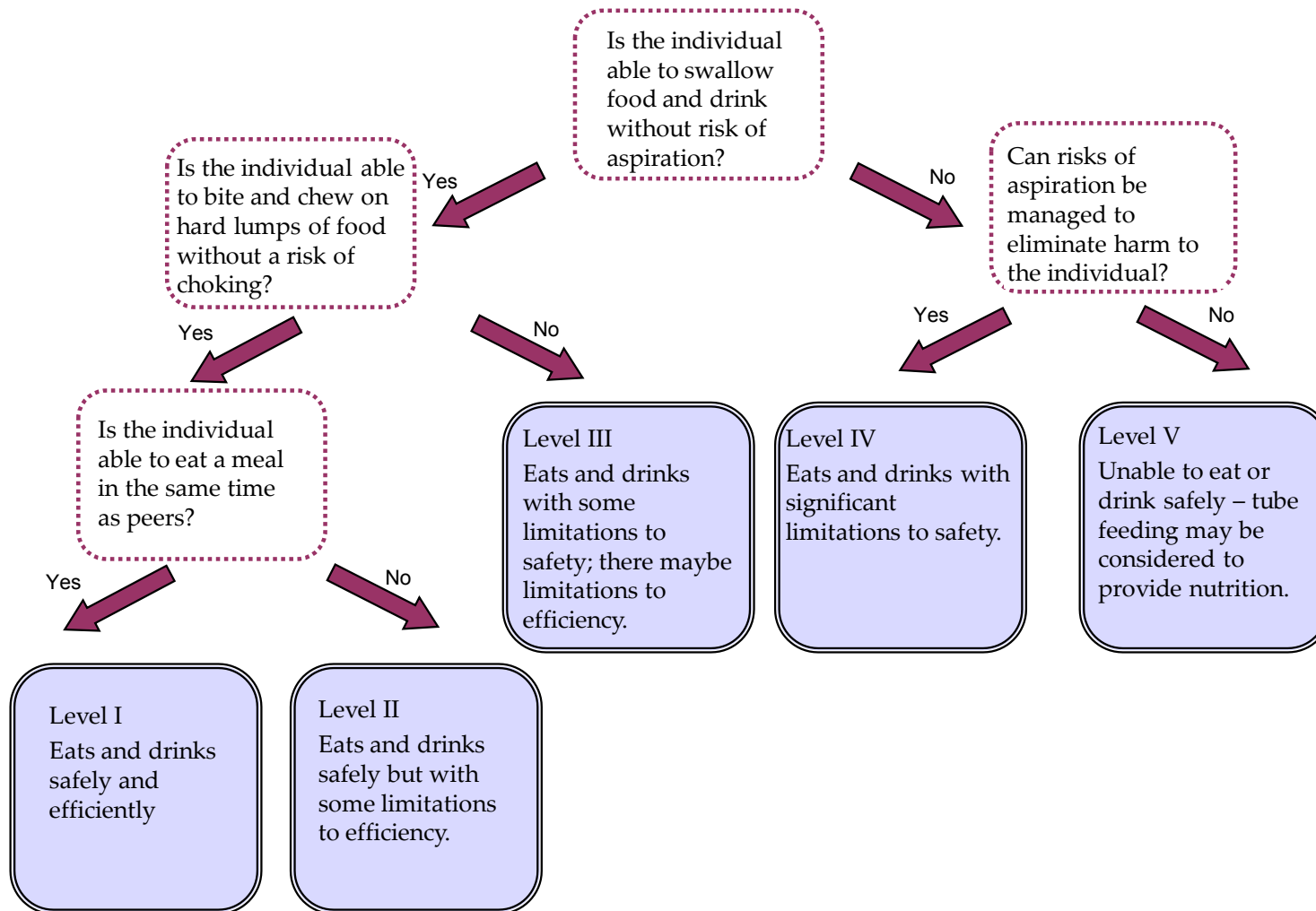


Tableau d'identification du niveau du SCFC



ANNEXE 4

Eating and Drinking Ability Classification System - Algorithm



ANNEXE 5

Carnet de santé : poids de naissance : (kg) Apgar : /10 (1min) /10 (5min)

4. Etiologies :

Souffrance néonatale

Prématurité

Ictère nucléaire

Autres préciser :

Indéterminée

5. Acquisition des étapes de DVPM : (âge en mois)

Ténue de la tête : station assise : 4 pattes : marche :

6. Bilans :

Scanner :

IRM :

EEG :

AUTRES :

Niveau d'indépendance motrice : classification GMF-CS :

I

II

III

IV

V

Appareillages :

Type :

Posture : attelle suropédieuse : non oui droite gauche

Attelle crurojambière : non oui droite gauche

Attelle palmaire : non oui droite gauche

Corset siège : non oui

Autres :

Fonction : Attelle suropédieuse non articulée : droite gauche

Attelle suropédieuse articulée : droite gauche

Attelle suropédieuse a effet de sol : droite gauche

Coque 3 points : droite gauche

Chaussures orthopédiques : droite gauche

Talonnettes : droite gauche

Cannes : droite gauche

Cadre déambulateur : keyWalker autre fauteuil roulant :

Tolérance :

Fréquence d'utilisation : heure/jour :

Thérapeutique :

Traitements médicamenteux :

Antiépileptiques : non oui baclofène : non oui

Autres : préciser :

Rééducation :

Toxine : nombres :

Plâtre : nombres de séries :

Kiné : non oui

Orthophonie non oui

Ergothérapie non oui

Chirurgie : non

Oui préciser :

Bilan clinique : (+, ++, +++)

TYPE DE LA PC	MEM SUP DRT	MEM SUP GCHE	MEM INF DRT	MEM IF GCHE
PC SPASTIQUE				
PC DYSTONIQUE				
PC CHOREOATHETOSIQUE				
PC ATAXIQUE				

TROUBLES ASSOCIES :

Visuels : non oui

Auditifs : non oui

Sensitifs : non oui

Epilepsie : non oui

Parole : non oui

Cognition : non oui

Test de six minutes : avant le protocole (S0)

Date du test initial :

Poids : (kg) **Taille :** (m,cm) **Age :** (an)

	Avant le test	PENDANT LE TEST			APRES LE TEST		
		2 MIN	4 MIN	6 MIN	2 MIN	4 MIN	6 MIN
Fréquence cardiaque							
Saturation en oxygène							
Borg							

NOMRE DE TOUR :

DISTANCE PACOURUE :

NOMBRE D'ARRET :

VITESSE DE MARCHE : mètres/min

$$\text{IDE} = (\text{FC marche} - \text{FC repos}) / \text{Vitesse de marche}$$
$$= \text{Battements} / \text{mètres.}$$

Observations :

Test de six minutes : moitié du protocole (S4)

Date du test intermédiaire :

Poids : (kg) **Taille :** (m,cm) **Age :** (an)

	Avant le test	PENDANT LE TEST			APRES LE TEST		
		2 MIN	4 MIN	6 MIN	2 MIN	4 MIN	6 MIN
Fréquence cardiaque							
Saturation en oxygène							
Borg							

NOMBRE DE TOUR :

DISTANCE PARCOURUE :

NOMBRE D'ARRÊT :

VITESSE DE MARCHÉ : mètres/min

IDE = (FC marche - FC repos) / Vitesse de marche
= Battements / mètres.

Observations :

Test de six minutes : fin du protocole (S8)

Date du test final :

Poids : (kg) **Taille :** (m,cm) **Age :** (an)

	Avant le test	PENDANT LE TEST			APRES LE TEST		
		2 MIN	4 MIN	6 MIN	2 MIN	4 MIN	6 MIN
Fréquence cardiaque							
Saturation en oxygène							
Borg							

NOMBRE DE TOUR :

DISTANCE PARCOURUE :

NOMBRE D'ARRÊT :

VITESSE DE MARCHÉ : mètres/min

IDE = (FC marche - FC repos) / Vitesse de marche
= Battements / mètres.

Observations :

Test de dix mètres (10 MWT) a vitesse rapide

1- Avant le protocole (S0):

	AVANT	FIN
FC		
SO2		
BORG		

Temps pour parcourir 10 mètres : secondes

Vitesse : mètres /secondes

Notes :

2- Moitie du programme (S4):

	AVANT	FIN
FC		
SO2		
BORG		

Temps pour parcourir 10 mètres : secondes

Vitesse : mètres /secondes

Notes :

3- Fin du programme (S8) :

	AVANT	FIN
FC		
SO2		
BORG		

Temps pour parcourir 10 mètres : secondes

Vitesse : mètres /secondes

Notes :

GROSS MOTOR FUNCTION MEASURE (GMFM) avant et après le protocole

Item	E : MARCHÉ, COURSE ET SAUT	COTATION	NT
* 65.	DEBOUT LES 2 MAINS SUR UN GRAND BANC : SE DEPLACE LATÉRALEMENT, 5 PAS SUR LA D	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	65.
* 66.	DEBOUT LES 2 MAINS SUR UN GRAND BANC : SE DEPLACE LATÉRALEMENT, 5 PAS SUR LA G	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	66.
* 67.	DEBOUT LES 2 MAINS TENUES : MARCHÉ 10 PAS EN AVANT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	67.
* 68.	DEBOUT 1 MAIN TENUE : MARCHÉ 10 PAS EN AVANT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	68.
* 69.	DEBOUT : MARCHÉ 10 PAS EN AVANT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	69.
* 70.	DEBOUT : MARCHÉ 10 PAS EN AVANT, S'ARRÊTE, TOURNE DE 180°, REVIENT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	70.
* 71.	DEBOUT : MARCHÉ 10 PAS EN ARRIÈRE	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	71.
* 72.	DEBOUT : MARCHÉ 10 PAS EN AVANT EN PORTANT UN GROS OBJET DES 2 MAINS	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	72.
* 73.	DEBOUT : MARCHÉ EN AVANT 10 PAS ENCHAÎNÉS ENTRE 2 LIGNES PARALLÈLES ESPACÉES DE 20 cm	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	73.
* 74.	DEBOUT : MARCHÉ EN AVANT 10 PAS ENCHAÎNÉS SUR UNE LIGNE DROITE LARGE DE 2 cm	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	74.
* 75.	DEBOUT : ENJAMBE UN BATON À HAUTEUR DE GENOU, EN COMMENÇANT PAR LE PIED D	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	75.
* 76.	DEBOUT : ENJAMBE UN BATON À HAUTEUR DE GENOU, EN COMMENÇANT PAR LE PIED G	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	76.
* 77.	DEBOUT : COURT SUR 4m 50, S'ARRÊTE PUIS REVIENT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	77.
* 78.	DEBOUT : DONNE UN COUP DE PIED DANS UN BALLON AVEC LE PIED D	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	78.
* 79.	DEBOUT : DONNE UN COUP DE PIED DANS UN BALLON AVEC LE PIED G	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	79.
* 80.	DEBOUT : SAUTE 30 cm EN HAUTEUR, LES DEUX PIEDS SIMULTANÉMENT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	80.
* 81.	DEBOUT : SAUTE EN AVANT 30 cm, LES DEUX PIEDS SIMULTANÉMENT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	81.
* 82.	DEBOUT : SAUTE À CLOCHE-PIED SUR LE PIED D 10 FOIS À L'INTÉRIEUR D'UN CERCLE DE 60 cm	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	82.
* 83.	DEBOUT : SAUTE À CLOCHE-PIED SUR LE PIED G 10 FOIS À L'INTÉRIEUR D'UN CERCLE DE 60 cm	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	83.
* 84.	DEBOUT EN SE TENANT À UNE RAMPE : MONTE 4 MARCHES EN SE TENANT À UNE RAMPE, EN ALTERNANT SES PAS	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	84.
* 85.	DEBOUT EN SE TENANT À UNE RAMPE : DESCEND 4 MARCHES EN SE TENANT À UNE RAMPE, EN ALTERNANT SES PAS	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	85.
* 86.	DEBOUT : MONTE 4 MARCHES, EN ALTERNANT SES PAS	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	86.
* 87.	DEBOUT : DESCEND 4 MARCHES, EN ALTERNANT SES PAS	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	87.
* 88.	DEBOUT SUR UNE MARCHÉ DE 15 cm DE HAUT : SAUTE DE LA MARCHÉ, LES DEUX PIEDS SIMULTANÉMENT	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/>	88.

TOTAL RUBRIQUE E

TESTING WITH AIDS/ORTHOSES USING THE GMFM-88

Indicate below with a check (✓) which aid/orthosis was used and what dimension it was first applied. (There may be more than one).

AID	Dimension	Orthosis	Dimension
Rollator/pusher	<input type="checkbox"/> _____	Hip Control	<input type="checkbox"/> _____
Walker	<input type="checkbox"/> _____	Knee Control	<input type="checkbox"/> _____
H Frame crutches	<input type="checkbox"/> _____	Ankle-foot Control	<input type="checkbox"/> _____
Crutches	<input type="checkbox"/> _____	Foot Control	<input type="checkbox"/> _____
Quad Cane	<input type="checkbox"/> _____	Shoes	<input type="checkbox"/> _____
Cane	<input type="checkbox"/> _____	None	<input type="checkbox"/> _____
None	<input type="checkbox"/> _____	Other	<input type="checkbox"/> _____
Other	<input type="checkbox"/> _____	(please specify)	

(please specify)

ABILOCO-Kids – Locomotion Ability Measure Arabic version. Avant le protocole

إسم المريض _____ التاريخ _____

مأمدى صعوبة الأنشطة الحركية التالية؟	مستحيل	صعب	سهل	؟
--------------------------------------	--------	-----	-----	---

١.				الصعود منفرداً في الدرج الكهربائي
٢.				صعود الدرج مع وضع كل قدم على الدرجة التالية بالتبادل
٣.				المشي للخلف
٤.				المشي لعدة دقائق بنفس سرعة الطفل السليم
٥.				نزول الدرج مع وضع كل قدم على الدرجة التالية بالتبادل
٦.				الجرى بشكل سليم حتى عند الدوران أو الإنعطاف
٧.				المشي مع الإمساك بشيء قابل الكسر (مثل كأس زجاج مملوء)
٨.				المشي لأقل من ٥ أمتار داخل المنزل معتمداً على الإمساك بقطع الأثاث
٩.				الإلتفاف والمشي في مساحة ضيقة
١٠.				صعود و نزول الدرج بدون الإمساك بالدرابزين (الحاجز الجانبي)

ENTRAINEMENT A LA MARCHE SUR TAPIS

1- MESURE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE DE RESERVE (FCR) :

Fréquence cardiaque maximale théorique (FCm) = 194 bpm (*Verschrun 2011*)

Fréquence cardiaque de repos (FCr) = bpm

Fréquence cardiaque de réserve (FCR) = Fréquence cardiaque maximale théorique (FCm) –
Fréquence cardiaque de repos (FCr) = bpm

2- MESURE DU POURCENTAGE DE LA FCR :

65 % DE LA FCR = ((65X FCR) / 100) + FCr = bpm

3-Entrainement sur tapis : noter la vitesse à chaque semaine.

ANNEXE 6

استمارة معلومات وموافقة مستنيرة

عنوان الدراسة

أثر التدريب على المشي في تحسين القدرات الحركية لدى الأطفال المصابين بالشلل الدماغي القادرين على المشي والتمكّن بهم في المؤسسة الاستشفائية المتخصصة سرايدي

مسئولة الدراسة

الدكتورة: بوعكاز إيمان

المصلحة: إعادة التأهيل الوظيفي الحركي – (MPR B) المؤسسة الاستشفائية المتخصصة سرايدي

هدف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى:

- معرفة تأثير التدريب المكثف على المشي فوق جهاز المشي (السير المتحرك) دون دعم وزن الجسم،
- تحسين القدرة على الحركة والمشى عند الأطفال المصابين بالشلل الدماغي،
- وصف الخصائص الصحية والسريرية للأطفال المشاركين، تحديد أنماط المشي المختلفة لديهم، واقتراح توصيات لتحسين طرق العلاج مستقبلاً.

لماذا تم اختيار طفلكم؟

تم اختيار طفلكم لأنه يعاني من الشلل الدماغي وقادر على المشي، لذلك يمكنه المشاركة في هذه الدراسة.

ماذا سنفعل خلال الدراسة؟

- تدريب مكثف على المشي فوق جهاز المشي دون دعم وزن الجسم لمدة ثمانية أسابيع خمس مرات في الأسبوع
 - قياس سرعة المشي، والتحمل، وكفاءة المشي و إجراء تقييم وظيفي لقدرات الحركة
- لن يتم إجراء أي فحص مؤلم أو خطير.

هل توجد مخاطر؟

لا توجد تقريباً أي مخاطر. قد يشعر طفلكم ببعض التعب فقط بعد التدريب.

هل توجد فائدة؟

قد تكون هناك فائدة مباشرة على قدرات المشي عند الطفل مثل زيادة سرعة المشي، تحسين التحمل، تحسين كفاءة الحركة كما ستساعد هذه الدراسة على تحسين علاج الأطفال في المستقبل.

سرية المعلومات

جميع المعلومات ستبقى سرية تماماً. لن يتم نشر اسم طفلكم أو أي معلومات شخصية عنه.

المشاركة الاختيارية

المشاركة اختيارية تماماً. يمكنكم الرفض أو الانسحاب في أي وقت دون أي تأثير على علاج طفلكم أو حقوقه في الرعاية الصحية.

استمارة الموافقة

أنا الممضي(ة) أسفله:

اسم الولي/الأب أو الأم.....:

اسم الطفل.....:

لقد قرأت وفهمت جميع المعلومات

أوافق على مشاركة طفلي في الدراسة

لا أوافق على مشاركة طفلي في الدراسة

التاريخ.....:

إمضاء الولي.....:

إمضاء مسؤولة الدراسة.....:

FICHE D'INFORMATION ET CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ

Titre de l'étude :

APPORT DE L'ENTRAÎNEMENT À LA MARCHÉ AUX CAPACITÉS MOTRICES DES ENFANTS PARALYTIQUES CÉRÉBRAUX MARCHANTS PRIS EN CHARGE À L'EHS SERAIDI

Responsable de l'étude

Dr : BOUAKKAZ Imene

Service : MPR B – EHS Seraidi

Objectif de l'étude

Cette étude a pour buts de démontrer l'apport d'un entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel sur les capacités locomotrices des enfants atteints de PC marchants, pris en charge à l'EHS Seraïdi ; de décrire le profil épidémiologique-clinique de la population étudiée ; de dégager des profils locomoteurs fonctionnels chez ces enfants; d'identifier les profils de réponse à l'entraînement et les sous-groupes GMFCS (I, II et III) tirant le plus grand bénéfice du programme et enfin de proposer plusieurs pistes de recommandations.

Pourquoi votre enfant ?

Votre enfant présente une paralysie cérébrale. Il peut donc participer à cette étude.

Que va-t-on faire ?

Un entraînement intensif à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel pendant huit semaines à raison de cinq fois par semaine

Évaluation de la vitesse, de l'endurance, de l'efficacité à la marche et établir un bilan fonctionnel locomoteur

Aucun examen douloureux ou dangereux ne sera ajouté.

Y a-t-il des risques ?

Il n'y a presque aucun risque. Votre enfant peut seulement ressentir un peu de fatigue.

Y a-t-il un bénéfice ?

Il y a pas un bénéfice direct sur les capacités locomotrices de l'enfant : vitesse, endurance à la marche et efficacité énergétique et aussi, cette étude aidera à améliorer les soins pour les enfants à l'avenir.

Confidentialité

Toutes les informations resteront confidentielles. Le nom de votre enfant ne sera pas publié.

Participation volontaire

La participation est libre.

Vous pouvez refuser ou arrêter à tout moment sans aucun effet sur les soins de votre enfant.

Formulaire de consentement

Je soussigné(e) :

Nom du parent/tuteur :

Nom de l'enfant :

J'ai lu et compris les informations

J'accepte la participation de mon enfant

Je refuse la participation de mon enfant

Date :

Signature parent/tuteur

Signature responsable

المقدمة :

تسم الشلل الدماغي لدى الأطفال القادرين على المشي باضطرابات مستمرة في المشي، تشمل انخفاض سرعة المشي، ضعف القدرة على التحمل، وعدم الكفاءة الحركية. ورغم أن التدريب على المشي باستخدام جهاز السير المتحرك يعد من الأساليب الشائعة في إعادة التأهيل العصبي لدى الأطفال، فإن العديد من البروتوكولات الموصوفة في الأدبيات العلمية تسم بالتعقيد وصعوبة التطبيق في البيئات السريرية ذات الموارد المحدودة. لذلك، يبدو اعتماد بروتوكول تدريبي بسيط، مكثف، وذو صلاحية بيئية عالية خياراً ذا أهمية خاصة. كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم تأثير تدريب مكثف على المشي باستخدام جهاز السير المتحرك دون دعم وزن الجسم على أداء المشي لدى الأطفال المصابين بالشلل الدماغي القادرين على المشي.

الطرائق :

أجريت هذه الدراسة كتجربة تدخلية مستقبلية من نوع قبل-بعد، وشملت 43 طفلاً مصاباً بالشلل الدماغي القادرين على المشي (GMFCS) من المستوى I إلى III. خضع جميع المشاركين لبرنامج تدريب على المشي باستخدام جهاز السير المتحرك دون دعم وزن الجسم، بمعدل خمس حصص أسبوعياً ولمدة ثمانية أسابيع. شملت معايير التقييم الأساسية المسافة المقطوعة في اختبار المشي لمدة ست دقائق (6MWT) وسرعة المشي المريحة. أما المعايير الثانوية فشملت سرعة المشي السريعة في اختبار المشي لعشرة أمتار (10MWT)، ومؤشر استهلاك الطاقة (IDE)، والمسافة الناقصة مقارنة بالأطفال ذوي النمو الطبيعي، إضافة إلى مقياس الوظيفة الحركية الكبرى (GMFM - البعد E فقط) ومقياس ABILOCO-Kids.

النتائج :

بعد انتهاء فترة التدريب، لوحظ تحسن ذو دلالة إحصائية في المسافة المقطوعة في اختبار المشي لمدة ست دقائق لدى جميع الأطفال، بزيادة متوسطة قدرها 53.5 متراً، مع أحجام تأثير كبيرة إلى كبيرة جداً حسب مستوى GMFCS. وكانت المكاسب النسبية أكثر وضوحاً لدى الأطفال من فئة GMFCS III، رغم بقاء المسافات المطلقة أقل مقارنة بالفئات الأخرى. كما تحسنت سرعة المشي المريحة والسرعة القصوى بشكل ملحوظ، مما يعكس تحسناً واضحاً في القدرة على التسارع والاحتياطي الوظيفي الحركي. بالتوازي، انخفض مؤشر استهلاك الطاقة بشكل ملحوظ في جميع مجموعات GMFCS (Hedges' $g = -0.68$)، مع انخفاض مطلق ونسبي أكبر لدى الأطفال من فئة GMFCS III، الذين أظهروا أعلى القيم الابتدائية. ظل معدل السرعة السريعة إلى السرعة المريحة ثابتاً لدى الأطفال من فئتي GMFCS I وII، مما يشير إلى قدرة تسارع محفوظة عند خط الأساس، في حين انخفض هذا المعدل لدى الأطفال من فئة GMFCS III، ما يعكس تحسناً تفضيلاً في سرعة المشي المريحة وتقليص الفجوة بين المشي التلقائي والمشى الأقصى. أخيراً، أظهر كل من مقياس GMFM (البعد E) ومقياس تحسننا ذا دلالة إحصائية لدى الأطفال من فئتي GMFCS II وIII مع أحجام تأثير كبيرة جداً، بينما لم يلاحظ تحسن ذو دلالة لدى الأطفال من فئة GMFCS I، مما يشير إلى وجود تأثير سقفي في هذه الفئة.

الخلاصة :

يُظهر التدريب المكثف على المشي باستخدام جهاز السير المتحرك دون دعم وزن الجسم، والمطبق خمس مرات أسبوعياً لمدة ثمانية أسابيع، فعالية واضحة في تحسين أداء المشي، وكفاءة الحركة، والقدرات الوظيفية الحركية لدى الأطفال المصابين بالشلل الدماغي القادرين على المشي، لا سيما لدى فئتي GMFCS II وIII. إن بساطة البروتوكول واعتماد أدوات تقييم معتمدة يمنحان هذا التدخل قيمة بيئية عالية، ويدعمان إمكانية تعميمه وتطبيقه في سياقات رعاية صحية متنوعة.

الكلمات المفتاحية :

الشلل الدماغي؛ التدريب المكثف على المشي؛ جهاز السير المتحرك؛ القدرات الحركية؛ (GMFM البعد E).

Abstract

Introduction: Ambulatory cerebral palsy (CP) is characterized by persistent gait limitations, including reduced walking speed, decreased endurance, and impaired locomotor efficiency. Many gait training protocols described in the literature remain complex and difficult to implement in clinical settings with limited resources. In this context, the choice of a simple, intensive, and ecologically valid training protocol appears particularly relevant. The primary objective of this study was to evaluate the effects of intensive treadmill gait training without body weight support on walking performance in ambulatory children with CP.

Methods: This prospective before–after interventional study included 43 ambulatory children with cerebral palsy classified as GMFCS levels I to III. All participants completed an intensive treadmill gait training program without body weight support, consisting of five sessions per week over eight weeks. Primary outcome measures included the distance covered during the six-minute walk test (6MWT) and comfortable walking speed. Secondary outcomes comprised fast walking speed assessed by the ten-meter walk test (10MWT), the energy expenditure index (EEI), the distance deficit compared with typically developing peers, the Gross Motor Function Measure (GMFM, dimension E only), and the ABILOCO-Kids score.

Results: Following the intervention, the distance covered during the 6MWT increased significantly across the entire cohort (+53.5 m on average), with large to very large effect sizes depending on GMFCS level. Relative gains were more pronounced in children classified as GMFCS III, despite lower absolute walking distances. Both comfortable and fast walking speeds increased significantly, indicating a marked improvement in acceleration capacity and locomotor functional reserve.

Concurrently, the energy expenditure index decreased significantly in all GMFCS groups (Hedges' $g = -0.68$), with greater absolute and relative reductions observed in children with GMFCS III, who presented the highest baseline values.

The fast-to-comfortable walking speed ratio remained stable in children with GMFCS I and II, suggesting preserved acceleration capacity at baseline, whereas it decreased in children with GMFCS III, reflecting a preferential improvement in comfortable walking speed and a reduction in the gap between spontaneous and maximal walking speeds.

Finally, GMFM (dimension E) increased significantly in children with GMFCS II and III, with very large effect sizes, while no significant improvement was observed in children with GMFCS I, consistent with a ceiling effect.

Conclusion: An intensive treadmill gait training program without body weight support, performed five times per week over eight weeks, significantly improves walking performance, locomotor efficiency, and functional locomotor abilities in ambulatory children with cerebral palsy, particularly those classified as GMFCS II and III. The simplicity of the protocol and the use of validated outcome measures support its strong ecological validity and its potential for dissemination across a wide range of clinical care settings.

Keywords: Cerebral palsy; Intensive gait training; Treadmill training; Locomotor function; GMFM (dimension E).

Résumé

Introduction : La paralysie cérébrale (PC) ambulatoire se caractérise par des limitations de la marche, incluant une diminution de la vitesse, de l'endurance et une inefficience locomotrice. De nombreux protocoles d'entraînements décrits dans la littérature restent complexes et difficilement transposables dans des contextes cliniques à ressources limitées. Le choix d'un protocole simple, intensif et écologiquement valide apparaît donc pertinent. L'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'effet d'un entraînement intensif à la marche sur tapis roulant, sans support de poids corporel, sur la performance de marche chez des PC ambulants.

Méthodes : Il s'agit d'une étude prospective interventionnelle de type avant-après incluant 43 enfants atteints de PC GMFCS I à III. Tous les participants ont suivi un entraînement à la marche sur tapis roulant sans support de poids corporel, à raison de cinq séances par semaine pendant huit semaines. Les critères principaux d'évaluations comprenaient la distance parcourue au test de marche de six minutes (6MWT) et la vitesse de marche confortable. Les critères secondaires incluaient la vitesse rapide au test de marche de dix mètres (10MWT), l'indice de dépense énergétique (IDE), la distance manquante par rapport aux enfants typiques, le score GMFM (dimension E) et le score ABILOCO-Kids.

Résultats : Après l'entraînement, la distance parcourue augmentait significativement dans l'ensemble de la population (+53,5 m en moyenne), avec des tailles d'effet importantes à très importantes selon le niveau GMFCS. Les gains relatifs étaient plus marqués chez les enfants GMFCS III, malgré des distances absolues plus faibles. La vitesse de marche confortable et la vitesse rapide augmentaient significativement témoignant d'une amélioration marquée de la capacité d'accélération et de la réserve fonctionnelle locomotrice.

Parallèlement, l'indice de dépense énergétique diminuait significativement dans tous les groupes GMFCS (Hedges' $g = -0,68$), avec un gain absolu et relatif plus important chez les enfants GMFCS III, qui présentaient les valeurs initiales les plus élevées.

Le ratio vitesse rapide/vitesse confortable restait stable chez les enfants GMFCS I et II, suggérant une capacité d'accélération déjà préservée, tandis qu'il diminuait chez les enfants GMFCS III, traduisant une amélioration préférentielle de la vitesse confortable et une réduction de l'écart entre marche spontanée et marche maximale.

Enfin, le score GMFM (dimension E) augmentaient significativement chez les enfants GMFCS II et III, avec des tailles d'effet très importantes, tandis qu'aucune amélioration significative n'était observée chez les GMFCS I, suggérant un effet plafond dans ce groupe.

Conclusion : Un entraînement intensif à la marche sur tapis roulant, sans support de poids corporel, appliqué cinq fois par semaine pendant huit semaines, permet d'améliorer significativement la performance de marche, l'efficacité locomotrice et les capacités locomotrices particulièrement chez les PC GMFCS II et III. La simplicité du protocole et l'utilisation d'outils validés confèrent à cette intervention une forte valeur écologique et soutiennent son potentiel de diffusion dans divers contextes de soins.

Mots-clés : Paralysie cérébrale ; Entraînement intensif à la marche ; Tapis roulant ; Capacités locomotrices ; GMFM (dimension E).