

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR
ANDRÉANNE BOUCHARD

COMPARAISON DE DEUX INTERVENTIONS SUR LA VARIABILITÉ DU
PATRON DE MARCHE ET LE DÉVELOPPEMENT PSYCHOMOTEUR CHEZ
LES ENFANTS PRÉSENTANT UN ENDOGYRISME CAUSÉ PAR UNE
ROTATION FÉMORALE INTERNE

JUIN 2017

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Ce mémoire a été dirigé par :

Vincent Cantin, PhD

Université du Québec à Trois-Rivières

Sébastien Hains, DPM, MSc

Université du Québec à Trois-Rivières

Jury d'évaluation du mémoire :

Patricia Larouche, MD, MHSc(Epi), FRCSC

University of Manitoba

Martin Decarreaux, PhD

Université du Québec à Trois-Rivières

Sébastien Hains, DPM, MSc

Université du Québec à Trois-Rivières

Résumé

La podopédiatrie est un des domaines de pratique en podiatrie et elle constitue une sphère de pratique importante pour les podiatres québécois. Les parents qui amènent leurs enfants en clinique ont souvent comme préoccupation l'apparence de déformation présente au niveau des membres inférieurs de leur enfant. La démarche en adduction, c'est-à-dire l'endogyrisme, est souvent rencontré chez les enfants. Tandis que certains podiatres préconisent l'utilisation de plaques de dérotation ainsi que les orthèses plantaires pour traiter l'endogyrisme, les pédiatres préfèrent généralement procéder à une observation puisque la démarche en adduction n'est présente que chez 4% des jeunes de 18 ans, suggérant une guérison naturelle. Malgré le grand nombre de résolutions spontanées, certaines conséquences à court et long terme peuvent se présenter dont des chutes fréquentes et une perte de fonctionnalité chez l'enfant. Peu d'études ont été réalisées à propos de l'endogyrisme chez l'enfant et l'efficacité de l'orthèse plantaire et aucune n'a été faite sur les répercussions de ce traitement à plus long terme. Dans ce contexte, je me suis intéressée à comparer l'efficacité du traitement orthésique à l'observation sur la variabilité de la démarche et sur la psychomotricité chez l'enfant atteint de rotation fémorale interne. Ainsi, nous supposons qu'un traitement orthésique de six mois chez les enfants présentant une rotation fémorale interne 1) diminuera la variabilité de la démarche 2) augmentera la fonctionnalité et la psychomotricité de l'enfant.

Contenu

Résumé.....	ii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	vii
REMERCIEMENTS.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1	3
1.1 Étiologie torsionnelle et angulaire	3
1.2 Étiologie rotationnelle	5
1.3 Conséquences d'une démarche en adduction.....	6
1.4 Évaluation clinique	7
1.5 Démarche de l'enfant.....	9
1.6 Variabilité de la démarche.....	13
1.7 Mesure de la démarche chez l'enfant	14
1.6 Développement psychomoteur	16
1.7 Outils d'évaluation de la psychomotricité.....	17
1.8 Troubles psychomoteurs	20
1.8 Traitements pour la démarche en adduction	25
CHAPITRE 2.....	31
Problématique	31
CHAPITRE 3.....	33
Méthodologie	33
1. Design de l'étude.....	33
2. Participants	34
3. Protocole expérimental	35
3.1 Examen clinique	35
3.2 Fonctionnalité et développement de l'enfant	36
3.3 Évaluation de la démarche.....	39
3.4 Accélérométrie	40

3.5 Interventions	40
3. Analyse des données	42
4. Analyses statistiques	42
CHAPITRE 4	43
Résultats	43
1. Données descriptives et évaluations cliniques	43
2. Fonctionnalité et développement de l'enfant	44
3. Coefficient de variabilité et vitesse de marche	47
Discussion	49
Limites	54
Conclusion	59
BIBLIOGRAPHIE	60
Annexe	ix

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Validités et fidélités intraclass des angles mesurant la torsion tibiale	9
Tableau 2 : Critères d'inclusion et d'exclusion	34
Tableau 3 : Signification de la valeur de quotient de motricité globale (Ulrich, 2000)	39
Tableau 4 : Données descriptives de la population	43
Tableau 5 : Données cliniques initiales et finales de la population.....	44
Tableau 6 : Comparaison de l'index d'incapacité, de l'évaluation globale et de l'échelle de douleur au cours des périodes orthèses et observation.....	45
Tableau 7 : Comparaison du score standardisé de locomotion du test Ulrich pour les périodes orthèses et observation	46
Tableau 8 : Comparaison des scores standardisés de motricité du test Ulrich pour les périodes orthèses et observation	46
Tableau 9 : Comparaison des quotients du test Ulrich pour les périodes orthèses et la observation	46
Tableau 10 : Moyenne et écart-type du coefficient de variation à vitesse élevée pré et post les périodes d'observation et d'orthèses	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Angle de progression du pied (Müller et al., 2012).....	11
Figure 2 : Test de motricité globale, Ulrich 2000	19
Figure 3 : Devis d'étude croisé.....	33
Figure 4 : Recrutement et suivi des patients.....	35
Figure 5 : Foot Posture Index (FPI)	36
Figure 6 : Plaque de dérotation (Tiré de Redmond 1998)	41
Figure 7 : Changement dans la valeur du quotient de motricité selon la période orthèses et celle observation	47
Figure 8 : Coefficient de variation pré et post interventions	48

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

APP : Angle de progression du pied

CHAQ : *Childhood health assessment questionnaire*

CHRD : Centre Hospitalier Régional de Lanaudière

CMV : Contraction musculaire volontaire

CPE : Centre de la petite enfance

CPUQTR : Clinique podiatrique universitaire de l'Université du Québec à Trois-Rivières

EMG : Électromyographie de surface

FPI : *Foot Posture Index*

GMPPM : *Gross Motor Performance Measure*

M-ABC : Batterie de l'évaluation de la motricité de l'enfant

OA : *Ostéoarthrite*

POSNA : *Pediatric Orthopedic Society of North America*

SD : Syndrome de Down

TGMD-II : *Test of Gross Motor Development edition II*

UQTR : Université du Québec de Trois-Rivières

V_{CA} : Vitesse de marche sur allée de marche

V_{CT} : Vitesse de marche sur tapis roulant

V_{ET} : Vitesse de marche élevée sur tapis roulant

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements. Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude au directeur de ce mémoire, M. Vincent Cantin, pour sa disponibilité et ses précieux conseils qui ont contribué à pousser ma réflexion scientifique à son maximum. Je voudrais aussi le remercier de m'avoir soutenu lors des périodes plus difficiles et de m'avoir entouré de personnes m'appuyant dans la continuité du projet.

Je désire aussi remercier le co-directeur de ce mémoire, Dr Sébastien Hains, podiatre, qui a d'abord su m'intéresser à la recherche et m'a permis d'être la responsable d'un projet pilote en podopédiatrie au CHRDL. Je tiens à remercier spécialement M. Claude Dugas pour sa contribution à ce projet.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les assistants de recherche M. Dominic Chicoine et Mme Chérine Zaim pour leur précieuse aide. Je voudrais aussi remercier Dr Gabriel Moisan, podiatre, d'avoir su prendre la relève du projet d'une façon exemplaire.

Enfin, je voudrais remercier les amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

INTRODUCTION

La médecine podiatrique est une jeune discipline dans l'univers médical au Québec. Cependant, tel que le rapporte la *New York State Podiatric Medical Association*, la podiatrie est bien intégrée au système de santé dans plusieurs pays dont les États-Unis depuis plus d'une centaine d'année. En raison du vieillissement de la population et des problèmes systémiques tels que l'insuffisance rénale et le diabète qui ont des répercussions sur la santé des pieds, plusieurs études sont présentement accomplies en podogériatrie. Certains autres champs de recherche de la médecine podiatrique demeurent toutefois peu explorés. C'est le cas de la podopédiatrie qui constitue une sphère de pratique importante pour plusieurs podiatres québécois, pratique qui est souvent basée sur l'empirisme par manque de données probantes.

Selon une revue de littérature réalisée en 1990, l'une des principales raisons de consultation en podiatrie chez la population pédiatrique est la préoccupation des parents de l'apparence de déformation présente au niveau des membres inférieurs de leur enfant entraînant une démarche en adduction, c'est-à-dire une démarche avec les pieds pointant vers l'intérieur (Briggs & Carlson, 1990). Cette déformation est communément appelée endogyrisme. La démarche en adduction est rencontrée autant chez les garçons que chez les filles. Gulan et al. (2000) rapportent que ce type de démarche affecte 30% des jeunes enfants de 0-4 ans et seulement 4% des jeunes de 18 ans (Gulan, Matovinovic, Nemec, Rubinic, & Ravlic-Gulan, 2000). Bien que bénigne dans la plupart des cas, ce type de

démarche peut démontrer dans certains rares cas la présence de causes sous-jacentes plus sérieuses telles que la paralysie cérébrale, la dysplasie de la hanche chez le nouveau-né, le Legg-Calvé-Perthes, la maladie de Blount, le rachitisme et la présence d'arthrite septique (Rethlefsen, Healy, Wren, Skaggs, & Kay, 2006). La déformation torsionnelle et angulaire affectant l'orientation du pied provient de différentes étiologies, soit du pied lui-même (*metatarsus adductus*), du tibia (torsion tibiale interne) et du fémur (antétorsion fémorale). La démarche en adduction peut aussi être due à une rotation fémorale interne entraînant une restriction d'amplitude de mouvement provoquée par des ligaments de la hanche ou des muscles postérieurs de la cuisse (Briggs & Carlson, 1990). Dans le prochain chapitre, il sera question des étiologies de l'endogyrisme, de ses conséquences, de l'évaluation clinique, du développement moteur, de la normalité de la démarche ainsi que de sa variabilité chez l'enfant.

CHAPITRE 1

1.1 Étiologie torsionnelle et angulaire

La position intra-utérine du fœtus influence l'alignement rotationnel des jambes. En effet, dès la septième semaine de gestation, la jambe et le pied sont orientés médialement tandis que la hanche effectue une rotation latérale et une contraction ligamentaire externe se produit au niveau de cette articulation (LT., 2008). Ainsi, cette position se perpétue jusqu'à ce que le membre inférieur se redresse pendant la petite enfance dans la majorité des cas. Trois étiologies torsionnelles peuvent être présentes chez l'enfant : le *metatarsus adductus*, la torsion tibiale interne et la torsion fémorale interne.

Premièrement, le *metatarsus adductus* entraîne une démarche en adduction (endogyrisme) et touche le plus souvent les nouveau-nés jusqu'à l'âge de 12 mois (Li & Leong, 1999). Le *metatarsus adductus* est une déformation médiale de l'avant-pied qui se caractérise par une adduction des métatarses au niveau de l'articulation de Lisfranc. Deuxièmement, une démarche en adduction peut également être causée par la présence d'une torsion tibiale interne qui est caractérisée par une torsion du tibia par rapport à l'axe transcondyloire du fémur. Elle est la cause la plus commune d'une démarche en adduction chez les enfants de 1 à 3 ans (Li & Leong, 1999). Du fait même, sa fréquence diminue avec l'âge et atteint 30% des cas de démarche en adduction à l'âge de sept ans (Fabry, Cheng, & Molenaers, 1994). Lors d'une position statique en charge, les pieds pointent vers l'intérieur tandis que les patellas pointent vers l'avant (Dietz, 1994). Finalement, la cause la plus fréquente de présentation clinique d'endogyrisme chez les

enfants de plus de 3 ans est une antétorsion fémorale, c'est-à-dire une torsion fémorale interne (Li & Leong, 1999). L'antétorsion fémorale est généralement congénitale et est présentée posturalement par une tendance à une position assise en "W" chez l'enfant, par des genoux pointant vers l'intérieur et par une fréquence élevée de chutes lors de la course et lors de la montée d'escaliers (Dietz, 1994; Li & Leong, 1999; Lincoln & Suen, 2003; LT., 1994). Elle est caractérisée par une augmentation de l'angle formé par l'axe du cou fémoral et de l'axe transcondyloire du fémur. Contrairement à la torsion tibiale interne, lors de la mise en charge statique, l'enfant a les patellas pointant vers l'intérieur de façon médiale. Afin de confirmer la présence d'antétorsion fémorale, le test de Craig est effectué (Davids 2002). Certains auteurs ont montré une relation entre le nombre de degrés de torsion fémorale interne mesuré avec ce test et mesuré de manière intra-opératoire à l'aide de radiographies (Ruwe, Gage, Ozonoff, & DeLuca, 1992). Le test de Craig est réalisé en position couchée sur le ventre avec le genou en flexion. Le clinicien effectue des rotations de la hanche de manière passive en bougeant la jambe fléchie tout en palpant le grand trochanter. Des rotations sont effectuées jusqu'à ce que le grand trochanter atteigne une position horizontale (proéminence maximale) (Cibulka, 2004). Les valeurs normales du test de Craig sont de huit à quinze degrés.

1.2 Étiologie rotationnelle

Quelques études ont été réalisées à propos des causes torsionnelles entraînant une démarche en adduction et l'efficacité des traitements orthopédiques. Cependant, aucune étude n'a montré l'efficacité de l'orthèse plantaire sur le problème de rotation fémorale interne provoquée par un manque d'élasticité ligamentaire au niveau de la hanche ou une faiblesse ou une contracture musculaire de la hanche de la part des muscles tenseur du fascia-lata, petit fessier et moyen fessier.

Jusqu'à l'âge de 7 ans, il est normal de retrouver deux à trois fois plus de rotation externe que de rotation interne à la hanche et l'amplitude de mouvement normal est d'environ 120 degrés (Staheli, 1972). À l'âge adulte, la proportion de rotation interne et externe est similaire et l'amplitude de mouvement totale est d'environ 90 degrés. Par ailleurs, lors de l'examen clinique, les amplitudes de mouvement de la hanche en rotation interne et externe sont notées. Pour se faire, le patient se couche d'abord sur une table d'examen avec les genoux dans le vide. L'amplitude articulaire de la hanche en interne et en externe est alors notée. Ensuite, le patient est assis sur le bord de la table d'examen et les mesures de la rotation interne et externe en passif de la hanche sont effectuées. Ce test d'amplitude articulaire de la hanche en passif possède des fidélités intra-juges et inter-juges fiables, soient de $r = 0,90$ et $r = 0,70$ (Cleland, 2007; Holm et al., 2000). Une diminution seule de la rotation fémorale externe lorsque la hanche est en extension suggère une tension excessive au niveau des ligaments pubo-fémoral et ilio-fémoral (H. D. Martin et al., 2008). Par ailleurs, la diminution seule de la rotation

fémorale externe avec la hanche en flexion suggère une restriction causée par les muscles semi-membraneux et semi-tendineux. Ainsi, une diminution de la rotation fémorale externe avec la hanche en extension et en flexion démontre une possibilité de torsion fémorale interne (Gelberman, 1987).

1.3 Conséquences d'une démarche en adduction

L'endogyrisme ne comporte pas de conséquences néfastes à court terme mis-à-part des chutes plus fréquentes chez les enfants atteints de ce problème (LT., 1994). Cependant quelques études montrent une relation entre la présence d'une antéversion fémorale et d'une ostéoarthrite (OA) de la hanche (Halpern, Tanner, & Rinsky, 1979). Aussi, une des conséquences d'une démarche en adduction est la présence d'une instabilité patellaire à long terme qui entraîne des douleurs une fois rendu à l'adolescence ou à l'âge adulte, communément appelée syndrome patello-fémorale (T. Q. Lee, Morris, & Csintalan, 2003; P. V. Munuera, Castillo, Dominguez, & Lafuente, 2010). Par ailleurs, il a été montré qu'il y a une relation entre l'OA patello-fémorale et l'alignement rotationnel du fémur en interne (Takai, Sakakida, Yamashita, Suzu, & Izuta, 1985). De plus, l'endogyrisme, causé par un problème torsionnel provenant du tibia ou du fémur ainsi que par un problème rotationnel provenant du fémur, produit un effet pronatoire au niveau de la jambe et de l'articulation subtalaire. Effectivement, ces étiologies entraînent le talus en adduction. Du fait même, la position interne de la jambe et du talus provoque un effet pronatoire de la chaîne cinétique fermée du pied, ce qui aggravera une position prédisposée à une éversion du pied. Ainsi, un pes plano valgus, c'est-à-dire un pied plat,

est identifiable chez les jeunes enfants marchant en adduction (McCrea, 1985). Zafiropoulos (2008) a été le premier à observer la relation entre la présence d'un pied plat et l'antéversion fémorale chez les enfants de 3 à 6 ans (Zafiropoulos, Prasad, Kouboura, & Danis, 2009).

1.4 Évaluation clinique

L'évaluation clinique ainsi que l'anamnèse permet d'exclure la plupart des causes sous-jacentes à ce problème local comme par exemple la paralysie cérébrale, le pied bot et la dysplasie développementale de la hanche. Tout d'abord, une anamnèse détaillée concernant les conditions lors de l'accouchement, le score APGAR de l'enfant et l'âge à lequel l'enfant a commencé à marcher révèlent des indices sur la santé générale de l'enfant. Par ailleurs, le questionnement sur la position avec laquelle le bébé s'est présenté lors de l'accouchement pourra déterminer la présence possible de dysplasie de la hanche qui peut entraîner une démarche en adduction. Le score APGAR, comportant un résultat maximal de 10, est réalisé à 1 et 5 minutes suivant la naissance de l'enfant. Les critères évalués sont : l'effort respiratoire, le rythme cardiaque, le tonus musculaire, le réflexe au stimulus ainsi que la couleur de la peau. Un résultat en-dessous de 7 est considéré comme anormal. Ehrenstein (2009) a montré une association entre un score APGAR faible et la présence de troubles neurologiques chez l'enfant (Ehrenstein, 2009). Deuxièmement, l'évaluation clinique podiatrique de la condition de démarche en adduction se fait en plusieurs étapes. Elle consiste d'abord à évaluer le membre inférieur

en position décubitus dorsal, puis en position statique en charge et enfin le clinicien observe la démarche naturelle de l'enfant. Ainsi, en position décubitus dorsal, le clinicien cherche la provenance de la difformité (pied, tibia ou fémur). Le *metatarsus adductus* est la déformation congénitale la plus fréquente du pied chez l'enfant et a une incidence de 0,1 à 1% des naissances (Widhe, Aaro, & Elmstedt, 1988). Elle est trois fois plus fréquente que les pieds bots et les pieds falciformes (Nemeth, 2011). Le *metatarsus adductus* est davantage rencontré chez les jumeaux et a tendance à se résorber plus lentement chez les enfants prématurés (Hunziker, Largo, & Duc, 1988). Bleck (1983) a développé une échelle de classification déterminant la sévérité d'un *metatarsus adductus* (Bleck, 1983). Cette échelle de classification est utilisée par les professionnels de la santé pour déterminer la présence et le degré de sévérité d'un *metatarsus adductus* dans les cas d'endogyrisme. Un *metatarsus adductus* est considéré léger, modéré ou sévère si la bissection du calcanéum se prolonge respectivement au niveau du troisième, quatrième et cinquième orteil. Selon la Pediatric Orthopedic Society of North America (POSNA), la flexibilité du *metatarsus adductus* est aussi notée lors de l'examen clinique et s'avère un élément clé pour déterminer le pronostic de résolution spontanée. Une grande majorité de ces difformités flexibles ne sera plus présente à l'âge de 3 ans tandis que celles rigides peuvent nécessiter des plâtrages en série Ponseti. Par la suite, lors de l'examen clinique podiatrique, la présence de torsion tibiale est notée. Pour s'y faire, trois angles mesurés directement sur les pieds (et non sur des clichés radiographiques) sont couramment utilisés : l'angle « thigh-foot », l'angle

transmalléolaire et l'angle du 2^e orteil (S. H. Lee, Chung, Park, Choi, & Cho, 2009).

L'angle qui a montré la plus grande validité et fidélité est l'angle transmalléolaire.

Tableau 1 Validités et fidélités intraclasse des angles mesurant la torsion tibiale
(Tiré de Lee et al. 2009)

Angle	Validité	Fidélité intraclasse (IC : 95%)
Angle pied-jambe	0,52	0,74
Angle transmalléolaire	0,62	0,91
Angle du 2 ^e orteil	0,55	0,57

Par ailleurs, les différentes amplitudes de mouvement de la hanche permettent de vérifier une présence de rotation fémorale interne. Afin d'évaluer cette valeur, le clinicien observe l'amplitude de rotation externe et interne de la hanche du patient (Han et al. 2015). Ce test s'effectue en position couchée sur le dos et ce, avec la hanche en extension puis en flexion. Enfin, pour compléter l'évaluation, le test de Ryder ou de Craig est effectué pour déterminer le degré de torsion fémorale (Cibulka, 2004).

1.5 Démarche de l'enfant

Chez l'enfant, l'acquisition normale de la marche se fait entre l'âge de 9 et 18 mois (Kimura-Ohba et al., 2011; Rigal, 2009). Puis, les paramètres de la démarche chez un

enfant évoluent selon l'âge, que ce soit entre autre concernant la vélocité, la durée de simple support, la cadence, la longueur des pas et la largeur de la base de support. De plus, la position et le balancement des bras, l'extension du genou et la flexion dorsale évoluent selon l'âge de l'enfant.

La cinématique de la marche chez l'enfant a d'abord été décrite comme étant similaire à celle de l'adulte à partir de l'âge de 3-4 ans (Sutherland, Olshen, Cooper, & Woo, 1980). C'est à cet âge que l'enfant acquiert la capacité de réaliser le contact talon à l'initiation du cycle de marche. Cependant, d'autres études plus récentes montrent que bien que l'enfant de 3 ans ait une démarche avec contact talon similaire à celle de l'adulte, il y a des différences significatives entre la cinématique de l'enfant et de l'adulte jusqu'à l'âge de 7 ans (Cupp, Oeffinger, Tylkowski, & Augsburger, 1999). Les différences notables sont la diminution de flexion plantaire de la cheville et d'extension du genou avant l'âge de 7 ans (Froehle, Nahhas, Sherwood, & Duren, 2013). Par ailleurs, lorsque l'enfant acquiert la marche, certaines variables spatiotemporelles sont élevées, soient la base de support et la cadence. Plus l'enfant grandit et plus ces variables diminuent (Hillman, Stansfield, Richardson, & Robb, 2009). Selon certains auteurs, la base de support atteint sa maturité approximativement au même âge selon les sexes, soit à 14,3 ans pour les filles et à 15,8 ans pour les garçons (Froehle et al., 2013). Par ailleurs, il a été observé qu'à partir de 8 ans, l'enfant ajuste sa cadence afin de garder la vitesse de marche acquise (Hillman et al., 2009). De plus, un auteur a montré que la cadence chez l'enfant de 8 ans est 26% plus élevée que chez l'adulte et qu'elle atteint sa maturité à partir de 14 ans autant chez les garçons que chez les filles (Sutherland, 2001). Une étude récente

montre que seule la vitesse de marche ne varie plus à partir de l'âge de 8 ans et que tous les autres variables spatiotemporelles continuent d'évoluer jusqu'à la fin de la croissance osseuse (Froehle et al., 2013).

En plus variables spatiotemporelles, l'angle de démarche subit lui aussi des changements importants lors de la croissance. L'angle de progression du pied (APP) est formé par la ligne de progression (la direction du pas) et la bissection du pied (Uden & Kumar, 2012).

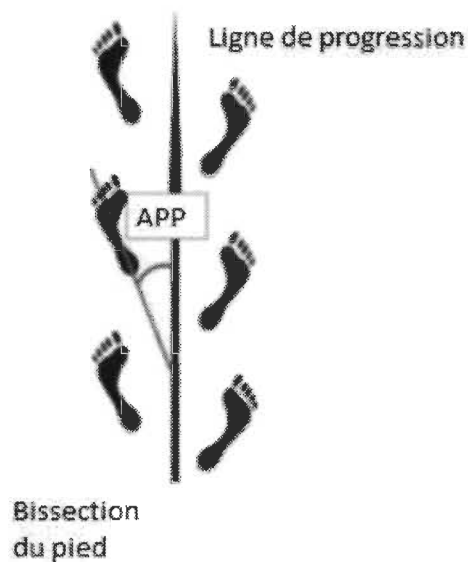


Figure 1 Angle de progression du pied (Müller et al., 2012)

Différentes méthodes sont couramment utilisées pour mesurer cet angle. Milliron et al. (1992) ont montré que le marqueur au niveau de l'avant-pied qui a le plus faible écart-type pour la bissection du pied est le milieu du deuxième orteil (Milliron, Loesel, Micheli, & Edington, 1992). Une des méthodes pour obtenir l'empreinte du pied

consiste à enduire d'encre non-permanente la surface plantaire des pieds et de faire marcher le participant sur une distance de cinq mètres sur un papier installé au sol. L'angle de progression de chaque pied est alors obtenu en faisant la moyenne de chaque angle à partir de la troisième empreinte obtenue (Seber et al., 2000). L'analyse cinématique est également régulièrement utilisée pour obtenir l'angle de progression du pied. Ho et al. (2000) ont proposé une méthode à 2 marqueurs afin de mesurer cet angle. Le premier marqueur étant situé sur la partie postérieure du calcanéum et le deuxième positionné à mi-distance entre la deuxième et la troisième tête métatarsienne (Ho, Lin, Chou, Su, & Lin, 2000). L'angle de progression consiste en l'angle formé entre la direction du participant et une droite passant par les deux marqueurs (Ho et al., 2000; Kadaba, Ramakrishnan, & Wootten, 1990). L'angle de progression du pied varie en général entre -3 et +20 degrés où un signe négatif démontre une adduction et un signe positif une abduction du pied (Staheli, Corbett, Wyss, & King, 1985). Il existe une relation positive entre l'angle de progression du pied et l'âge ($r : 0,363$). L'angle de progression a tendance à augmenter (progression externe) plus l'enfant vieillit (Lai et al., 2014). Toujours selon ces auteurs, il existe une différence entre les sexes et l'angle de progression du pied chez l'enfant. Effectivement, il a été montré que les garçons ont un angle de progression du pied plus grand que les filles, c'est-à-dire ayant une rotation externe plus grande. Ceci s'explique par le fait que les filles ont davantage d'antétorsion fémorale que les garçons, ce qui affecte automatiquement l'angle de progression du pied (Jacquemier et al., 2008).

De plus, la croissance du membre inférieur atteint sa maturité à différent moment selon le sexe. La moyenne d'âge de la fin de croissance du membre inférieur se présente vers 13,2 ans pour les filles et 15,6 ans pour les garçons (Froehle et al., 2013).

1.6 Variabilité de la démarche

Le coefficient de variation (CV) est une mesure de dispersion des données autour de la moyenne et est une mesure importante de fiabilité. Elle se calcule en divisant l'écart-type par la moyenne de l'échantillon. Un écart-type et un coefficient de variation de l'intervalle de foulée élevés sont largement associés avec une démarche instable et un risque accru de chute chez la personne âgée (Beauchet et al., 2009; Verghese, Holtzer, Lipton, & Wang, 2009). L'intervalle de foulée, c'est-à-dire le temps entre deux contacts du talon du même pied, a été étudié au courant des dernières décennies et la variabilité de cet intervalle est considérée comme un marqueur de la stabilité de la marche (Jeffrey M. Hausdorff, 2007; J. M. Hausdorff, Zeman, Peng, & Goldberger, 1999). Lorsque l'enfant commence à marcher, la stabilité de marche est immature et résulte par une grande fluctuation de l'intervalle de foulée ce qui entraîne un grand nombre de chutes (Brenière & Bril, 1988). Il a été montré que l'âge des participants, la présence de pathologie et le niveau d'équilibre des sujets apportent une certaine variabilité dans l'intervalle de foulée chez les enfants (Fairley, Sejdić, & Chau, 2010). Ainsi, puisque l'enfant continue à acquérir du contrôle neuromusculaire même après 3 ans, malgré son patron de marche davantage mature, il existe toujours une certaine variabilité. Quelques études ont montré une tendance à la diminution de cette variabilité à mesure que l'âge

augmente (Jeffrey M. Hausdorff, 2007; J. M. Hausdorff et al., 1999). Ces études ont montré que le coefficient de variabilité était significativement plus élevé selon l'âge des participants (significativement plus élevé pour le groupe 3-4 ans comparativement au groupe 6 à 7 ans et significativement plus élevé pour le groupe 6 à 7 ans comparativement au groupe 11 à 14 ans). Cette variabilité retrouvée davantage chez les jeunes enfants peut être attribuée à la faible vitesse de marche qui entraîne, du fait même, une stabilité posturale diminuée (Newton, 1996). Par ailleurs, ces auteurs suggèrent que la quantification de la fluctuation de l'intervalle de foulée chez l'enfant pourrait permettre de détecter et classer plus tôt les troubles de marche chez l'enfant. D'autres auteurs ont appuyé cette idée en montrant une relation entre l'augmentation de la variabilité de la marche et les troubles de marche (Chau & Rizvi, 2002). Il a aussi été montré que les enfants présentant un TDAH avaient une variabilité de la marche augmentée (Manicolo, Grob, Lemola, & Arx, 2016). Certains auteurs se sont interrogés sur l'effet de l'orthèse tibial-pédieuse (AFO) sur la variabilité de la marche chez l'enfant atteint de paralysie cérébrale (Bennett, Russell, & Abel, 2012). Cependant, aucune étude de l'effet de l'orthèse plantaire fonctionnelle sur la variabilité de la durée de foulée n'a été répertoriée.

1.7 Mesure de la démarche chez l'enfant

L'utilisation du tapis roulant comporte plusieurs avantages dans l'évaluation de la démarche. Ce dernier permet de contrôler la vitesse de marche, la pente et les facteurs

environnementaux (Fairley et al., 2010). Il existe des différences biomécaniques dans la démarche sur une allée de marche comparativement à un tapis roulant (Chang, Shaikh, & Chau, 2009). Ces altérations de la biomécanique de la marche sont expliquées par une différence de la rigidité de la surface de marche, la perte de retour d'informations visuelles sur un tapis roulant, la contrainte de vitesse programmée par l'appareil et la familiarisation avec la tâche demandée sur tapis roulant (Fairley et al., 2010). Il a été montré qu'une période d'adaptation et de familiarisation à la marche sur tapis roulant est requise avant le début d'enregistrement des paramètres lors de l'évaluation de la marche. La familiarisation peut être définie comme étant le processus par lequel les différences dans les mesures répétées d'un paramètre spécifique se stabilisent à un niveau acceptable au cours d'une session d'enregistrement de données. Cette période d'adaptation à la marche sur tapis roulant est fixée par la majorité des auteurs à 5 minutes (Amorim, Hills, & Byrne, 2009). Des auteurs se sont penchés sur l'effet du tapis roulant sur durée de foulée chez les enfants sains. Il a été montré que l'intervalle de foulée chez les enfants était significativement diminuée lors de la marche sur tapis roulant (avec et sans support latéral pour les mains) et que le coefficient de variabilité de la durée de foulée est plus petit chez les enfants plus vieux comparativement aux plus jeunes (Fairley et al., 2010). La vitesse privilégiée par l'enfant et le nombre de pas diffèrent également lors de la marche sur tapis roulant comparativement à la marche sur le sol.

1.6 Développement psychomoteur

Le niveau de développement moteur de l'enfant est un élément clé dans le bon développement du jeune. L'acquisition des habilités motrices est l'élément fondamental des comportements humains et permet à l'enfant d'acquérir des compétences dans d'autres champs d'intérêts. Gallahue (2006) a montré que des aptitudes motrices inadéquates à un jeune âge influencent d'une manière négative le développement cognitif et les interactions sociales. Lors de sa croissance, l'enfant subit un développement qui est morphologique, mais qui a aussi une composante motrice. Toujours selon cet auteur, le développement moteur évolue selon quatre phases : les phases des mouvements réflexes, rudimentaires, fondamentaux et spécialisés. Tout d'abord, dès les premières secondes de vie, l'enfant effectue des mouvements qui sont en fait des réflexes. Ceux-ci sont soit d'origine végétative, assurant ainsi la survie de l'enfant (réflexe de succion et déglutition) ou soit d'origine sensori-motrice (réflexe d'agrippement, réflexe de Moro, etc). Puis, au fil des semaines, l'enfant acquiert des mouvements répétitifs (ex : frotter les pieds ensemble). Enfin, après quelques mois, suite à la maturation des centres nerveux par renforcement des synapses et de la gaine de myéline, une augmentation de la vitesse de conduction nerveuse s'observe et le contrôle moteur s'améliore. Par la suite, c'est entre la naissance et l'âge de 15 mois que les comportements moteurs rudimentaires apparaissent. Ces derniers comprennent des habiletés telles que la posture, la préhension, le tonus, l'équilibre, la position stationnaire debout et enfin, la marche. Ensuite, c'est entre deux et six ans que l'enfant acquiert des

compétences motrices fondamentales, c'est-à-dire les activités suivantes : courir, sauter, lancer, frapper, patiner, nager, etc. (Sun, Zhu, Shih, Lin, & Wu, 2010). Certaines de ces actions sont dites phylogéniques, c'est-à-dire qu'elles apparaissent à un âge semblable chez les individus (ramper, marcher, courir, grimper) tandis que d'autres sont dites ontogéniques et dépendant des capacités motrices (nager, patiner, rouler à bicyclette). Lors de cette phase, l'enfant apprend à maîtriser les habilités motrices rudimentaires tout en bougeant et en occupant l'espace et ce, d'une manière plus efficace que lors de la phase rudimentaire (Rigal, 2009). Enfin, c'est lors de la dernière phase, c'est-à-dire l'acquisition des comportements moteurs spécialisés que l'enfant utilise les habilités motrices fondamentales afin de pratiquer certains sports.

1.7 Outils d'évaluation de la psychomotricité

Pour déterminer le niveau d'habileté motrice de l'enfant, il existe divers tests pouvant être effectués. Selon Mazzone, Mugno, and Mazzone (2004), cette évaluation doit prendre en compte trois fonctions, soient la capacité de stabilisation, de locomotion et de manipulation, en plus d'être soit qualitative ou quantitative. Tout d'abord, Goshi, Demura, Kasuga, Sato, and Minami (1999) ont décrit la stabilisation comme étant la capacité de maintenir le centre de gravité à l'intérieur de la base de support lors de différents mouvements (ex : position unipodale et course). Par la suite, toujours selon ces mêmes auteurs, la capacité de locomotion incorpore plusieurs activités motrices telles que la marche, la course, le saut en hauteur, le saut en longueur, la glissade et la montée d'escaliers. Enfin, lors de l'évaluation du niveau d'habileté motrice, les habilités

de manipulation motrice comprennent le dribble, l'attrapé, le lancer, le frapper et l'arrêt d'une balle. Goshi et al. (1999) mentionnent aussi qu'une évaluation quantitative du niveau d'habilité motrice mesurant la vitesse, la distance, le temps et la fréquence des fonctions motrices (stabilisation, locomotion et manipulation) devrait être réalisée. Enfin, ils suggèrent qu'une évaluation qualitative, de son côté, mesurant la qualité du mouvement selon les critères présélectionnés devrait compléter l'évaluation.

Les deux tests les plus couramment utilisés de nos jours pour évaluer le développement moteur chez les enfants de plus de 4 ans sont le test de motricité globale d'Ulrich (TGMD-II) et la batterie d'évaluation de la motricité de l'enfant (M-ABC). La deuxième édition du test Ulrich, c'est-à-dire le Test of Gross Motor Development – second edition (TGMD-II), est un outil qui est utilisé afin d'évaluer le niveau moteur des enfants âgés de 3 à 10 ans. Cette évaluation est basée sur des critères qualitatifs et évalue la locomotion et la dextérité manuelle des jeunes (D. A. Ulrich, 2000). Le test Ulrich comprend un total de 12 épreuves évaluant la motricité globale. Les aspects notés dans la partie sur la locomotion sont les suivants : course, galop, saut à cloche-pied, saut par-dessus un objet, saut en longueur pieds joints et pas chassés latéraux. Par ailleurs, les aspects évalués pour la partie de contrôle d'objets sont les suivants : frapper une balle immobile, dribbler sur place, attraper une balle à deux mains, donner un coup de pied à un ballon, lancer une balle d'une main vers le haut et faire rouler une balle sur une surface. Chaque épreuve contient entre 3 et 5 éléments à prendre en compte. Quand chacun des éléments est bien effectué, un point est donné. Ce test comprend une feuille

sommaire des résultats permettant une interprétation pour chaque cote d'habileté et cote de sous-test ainsi qu'un score total (notamment en score standard, rang percentile, âge équivalent et quotient de motricité globale). La durée requise pour effectuer le test est de 15 à 20 minutes. Ulrich (2000) a montré que ce test peut être utilisé pour identifier les enfants présentant une lacune de développement moteur et pour planifier des programmes d'interventions propres à chacun. Le test Ulrich est un test fiable et valide. Effectivement, les fidélités test-retest ($r = .86-.96$), inter-juges ($r = .82-.98$) et intra-juge ($r = .85-.95$) ont été démontrées comme étant excellentes. Par ailleurs, le test Ulrich possède une grande validité de construit ($r = .45-.80$) (Houwen, Hartman, Jonker, & Visscher, 2010).

TEST DE MOTRICITÉ GLOBALE

(Ulrich, 2000)

TEST	ITEMS	DESCRIPTION
1. LOCOMOTION	<ul style="list-style-type: none"> - COURSE - GALOP - SAUT À CLOCHE-PIED - SAUTER PAR-DESSUS - SAUT EN LONGUEUR PIEDS JOINTS - PAS CHASSÉS LATÉRAUX 	<ul style="list-style-type: none"> - FAIRE UN ALLER-RETOUR DE 50 PIEDS - GALOPER SUR UNE DISTANCE DE 25 PIEDS - SAUTER 3 FOIS DE SUITE VERS L'AVANT SUR UN PIED - COURIR ET SAUTER PAR-DESSUS UN SAC DE GRAINES POSÉ SUR LE SOL - SAUTER LE PLUS LOIN POSSIBLE - FAIRE DES PAS CHASSÉS D'UN CÔTÉ PUIS DE L'AUTRE SUR 25 PIEDS
2. CONTRÔLE D'OBJETS	<ul style="list-style-type: none"> - FRAPPER UNE BALLE IMMOBILE - DRIBBLER SUR PLACE - ATTRAPER UNE À DEUX MAINS - DONNER UN COUP DE PIED À UN BALLON - LANCER UNE BALLE D'UNE MAIN - LANCER UNE BALLE D'UNE MAIN PAR EN BAS 	<ul style="list-style-type: none"> - AVEC UN BÂTON TENU À 2 MAINS, FRAPPER UNE BALLE PLACÉE SUR UN POTEAU, À LA HAUTEUR DU BASSIN - DRIBBLER SUR PLACE D'UNE MAIN 4 FOIS - ATTRAPER UNE BALLE LANCÉE PAR EN DESSOUS D'UNE DISTANCE DE 15 PIEDS - FRAPPER UN BALLON AVEC LE PIED APRÈS UNE COURSE D'ÉLAN DE 20 PIEDS - LANCER UNE BALLE SUR LE MUR À 20 PIEDS PAR EN HAUT (PAR-DESSUS L'ÉPAULE) - LANCER FORT UNE BALLE EN LA FAISANT ROULER SUR LE SOL VERS UNE CIBLE À 20 PIEDS

Figure 2 Test de motricité globale, Ulrich 2000

1.8 Troubles psychomoteurs

Il existe plusieurs troubles de la motricité qui peuvent affecter l'enfant. En effet, ces derniers se classent tout d'abord en trois catégories, soit les troubles organiques (dus à des lésions anatomiques ou systémiques), les troubles fonctionnels et les troubles socioaffectifs. Les troubles psychomoteurs les plus communs sont les suivants : troubles d'acquisition de la coordination ou dyspraxie (DSM-IV, 2004) et le syndrome hyperkinétique. Plusieurs maladies et syndromes touchant les nouveau-nés entraînent souvent des troubles psychomoteurs (syndrome de Down, paralysie cérébrale, dystrophie musculaire, pieds bots, etc.). Chez les enfants atteints de paralysie cérébrale et du syndrome de Down, les troubles moteurs présents sont souvent adressés comme étant des problèmes secondaires en raison des autres répercussions de la maladie sur le corps en entier.

Il a été montré que la démarche chez les enfants atteints de trouble d'acquisition de la coordination est caractérisée par une base de support plus large et d'une variabilité accrue de la durée de double support, de l'intervalle de foulée et de l'accélération médio-latérale (Gentle, Barnett, & Wilmut, 2016). Ces caractéristiques entraînent une diminution du contrôle du centre de masse et entraînent par le fait même un risque accru de chutes chez l'enfant. Les enfants atteints de dyspraxie ont souvent recours à des services de physiothérapie, d'ergothérapie et de kinésiologie. La podiatrie est rarement un traitement de première ligne pour ce trouble psychomoteur. Cependant, certaines

études ont été réalisées à propos de l'effet des orthèses plantaires sur le niveau de développement moteur. Tout d'abord, une étude effectuée avec des enfants atteints de paralysie cérébrale a montré que le niveau de stabilité lors de la locomotion était augmentée lors du port d'orthèses plantaires (Cappello & Song, 1998). Par ailleurs, quelques études de cas ont été réalisées chez des participants âgés de moins de 6 ans et les auteurs se sont penchés sur l'efficacité de l'orthèse plantaire chez les jeunes enfants et de son impact sur leur psychomotricité. Ainsi, une étude de cas a montré une amélioration de la psychomotricité lors du port d'orthèses plantaires sur une période de 3 semaines chez un enfant âgé de 19 mois atteint d'hypotonie provoquée par une hydrocéphalie causant un pied plat sévère (George & Elchert, 2007). Une autre étude de cas a montré une amélioration du développement moteur chez un enfant âgé de 25 mois atteint d'un retard de développement associé à un pied plat flexible et d'hypotonie (Buccieri, 2003). Par ailleurs, une étude récente a évalué l'effet qu'a l'orthèse plantaire sur les différents paramètres spatio-temporels de la marche chez l'enfant atteint d'un désordre de développement et de coordination (dyspraxie ou DCD) (Stewart C. Morrison, Ferrari, & Smillie, 2013). Ce type de problématique entraîne généralement une hyperlaxité généralisée et ainsi un pied plat chez l'enfant. Cette dernière étude quasi-expérimentale a comparé un groupe recevant un traitement orthésique à la fin d'un programme de réadaptation de physiothérapie à celui d'un groupe recevant le traitement orthésique en même temps que le programme de physiothérapie. Certains résultats, soient la cadence et la phase de double support, se sont avérés plus faibles en présence d'un traitement orthésique hâtif. Cependant, ces résultats ne sont pas significatifs selon

les seuils établis par les auteurs, ceci pouvant être dû au faible nombre de participants (n=14) et au fait que les enfants ont dû marcher sur une allée de marche de 5m et non sur un tapis roulant pouvant normaliser la vitesse (Stewart C. Morrison, Ferrari, & Smillie, 2012). Il aurait été intéressant que ces auteurs se penchent sur l'effet de l'orthèse plantaire sur le niveau de fonctionnalité de l'enfant soit en mesurant de manière qualitative grâce à un questionnaire aux parents soit en effectuant une collecte de données de façon quantitative grâce à l'un des index mesurant la fonctionnalité pédiatrique.

Par ailleurs, une étude ayant pour objectif de déterminer les effets à moyen terme de l'orthèse tibiale articulée (DFO) sur le niveau de développement moteur chez des enfants présentant un retard de développement a montré un pointage amélioré lors de l'évaluation de la psychomotricité chez les enfants présentant un retard de croissance (Pitetti & Wondra, 2005). Cette étude comprenait 25 enfants présentant des troubles psychomoteurs (2 enfants atteints du syndrome de Down, 20 d'un retard de croissance et 3 de paralysie cérébrale). Une amélioration significative du score de psychomotricité a été observée après 2 mois de port d'orthèses plantaires accommodatives uniquement chez ceux atteints d'un retard de croissance. Cette amélioration a été notée avec et sans orthèses après un traitement orthésique de deux mois chez les enfants atteints d'un retard de croissance. Une limite de cette étude provient du faible nombre d'enfants atteints du syndrome de Down et d'une paralysie cérébrale. Par ailleurs, puisque les enfants trisomiques sont en général hypotoniques, une orthèse accommodative n'est généralement pas assez rigide pour entraîner une amélioration du développement moteur

(K. Martin, 2004). Une autre étude effectuée auprès d'enfants atteints du syndrome de Down (SD) n'a montré, de son côté, aucune amélioration de la fonctionnalité globale de l'enfant grâce à l'ajout d'un traitement orthésique supra-malléolaire au traitement de physiothérapie par l'apprentissage de la marche sur un tapis roulant (Looper & Ulrich, 2010). Les limitations de cette étude sont le faible nombre de participants suite à plusieurs abandons en cours d'étude, l'hétérogénéité des deux groupes concernant la fonctionnalité globale de départ et la compilation du test de fonctionnalité non fait à l'aveugle.

L'utilisation de l'orthèse plantaire dans la population pédiatrique est très mitigée. Il y a absence de consensus sur l'efficacité réelle de cette dernière dans les problématiques de rotation du membre inférieur et de pieds plats (*pes plano valgus*). Quelques études ont montré l'efficacité de l'utilisation de l'orthèse plantaire pour améliorer la démarche des enfants atteints du syndrome de Down (SD). Ces derniers présentent un *pes plano valgus* dans la majorité des cas en plus d'un retard dans leur développement moteur (Cioni, Cocilovo, Rossi, Paci, & Valle, 2001). Selby-Silverstein, Hillstrom, and Palisano (2001) ont observé l'effet de l'orthèse plantaire chez les enfants âgés entre 3 et 6 ans atteints du SD. Ils ont montré que l'orthèse plantaire entraînait une diminution de l'éversion du calcaneum, diminuait l'angle de progression du pied (c'est-à-dire l'angle formé par la bissection du pied et la direction du pas) en plus d'augmenter la vitesse à la marche. Par ailleurs, un auteur a étudié l'effet de l'orthèse supra-malléolaire flexible (OSMF), c'est-

à-dire une orthèse en plastique flexible ayant des rebords se prolongeant jusqu'au-dessus des malléoles et conçue pour les cas d'hypotonie, chez les enfants âgés de 3 à 8 ans atteints du SD (K. Martin, 2004). Ce dernier a observé que l'utilisation d'une OSMF améliorait la stabilité posturale mesurée à l'aide du *Gross Motor Performance Measure (GMPPM)*.

D'un autre côté, d'autres auteurs se sont interrogés sur l'efficacité de la combinaison de traitements physiques de renforcement musculaire et de l'utilisation de l'orthèse plantaire (Ross & Shore, 2011). Une étude de cas d'un enfant de 25 mois présentant une hyperpronation des pieds et un retard moteur de 6 mois a montré que le traitement orthésique jumelé à la physiothérapie a permis à l'enfant de gagner 12 mois d'âge de développement moteur et ce, en 5 mois de traitement. D'autres auteurs ont montré qu'il n'existait aucune amélioration significative lors de l'ajout du traitement orthésique chez l'enfant atteint d'hypotonie et d'un *pes plano valgus* comparativement au groupe ayant reçu le traitement de renforcement musculaire. Une limitation importante peut avoir entraînée des résultats erronés dans cette étude. Effectivement, selon Campbell, l'analyse de la démarche en trois dimensions peut se révéler erronée en raison de la petite taille des enfants, de leur difficulté à coopérer et de leur démarche qui est encore immature avant l'âge de 3 ans (Campbell SK, 2006).

1.8 Traitements pour la démarche en adduction

Une revue de littérature, réalisée en 2012, a répertorié les études traitant des traitements non-chirurgicaux de la démarche en adduction. Un total de 178 études a été recensé. Seulement 5 études ont été retenues avec comme critères d'inclusion une étude expérimentale écrite en anglais, une population pédiatrique (<18 ans) sans trouble neurologique ou pathologie systémique étant atteinte de démarche en adduction et avoir comme objectif de traiter non-chirurgicalement la démarche en adduction. Par ailleurs, la qualité méthodologique générale était faible et ces études comportaient de nombreux biais de sélection, de mesure ainsi qu'un manque de suivi (Uden & Kumar, 2012). Tandis que certains auteurs préconisaient les traitements conservateurs, c'est-à-dire les plaques de dérotation ainsi que les orthèses plantaires, d'autres s'entendaient pour dire que l'observation était l'intervention à privilégier en raison du grand nombre de résolutions spontanées. La chirurgie est le dernier recours. Les nombreux biais ainsi que le nombre restreint d'études retenues démontraient la pertinence à effectuer de la recherche rigoureuse en podopédiatrie.

Au cours des dernières décennies, la démarche en adduction était traitée de façon orthopédique (Briggs & Carlson, 1990). Plusieurs traitements conservateurs étaient utilisés tels que les barres de dérotation (barre Denis-Brown), les orthèses plantaires, les plaques de dérotation et les modifications apportées aux chaussures (Uden & Kumar, 2012). Les modifications apportées aux chaussures n'ont montré aucune évidence d'amélioration significative de la démarche en adduction (Knittel & Staheli, 1976).

Dans la littérature scientifique, la première référence à l'utilisation de plaques de dérotation est apparue en 1967 (Schuster, 1967). Une telle plaque consiste en un morceau de polypropylène rigide (type de plastique) installée dans la chaussure au niveau de la semelle. Cette plaque prend départ au niveau du talon et s'étend jusqu'aux métatarses. Elle est constituée d'un prolongement en biais de 45 degrés commençant avant la première tête et se terminant au bout du 5^e orteil. Le but du port d'une telle extension en polypropylène est de limiter la propulsion au niveau du 1^{er} rayon et de la favoriser du côté externe du pied. Il a été possible de répertorier seulement trois études à propos des plaques de dérotation et de la démarche en adduction (Redmond, 1998, 2000; Schuster, 1967). Puisque l'endogyrisme est souvent associé à une pronation de l'articulation subtalaire, l'association d'une orthèse semi-rigide fonctionnelle à une extension au niveau du 5^e orteil est souvent utilisée par les cliniciens. Une seule étude scientifique traitant du rôle des orthèses plantaires semi-rigides fonctionnelles comportant une extension au niveau du 5^e orteil sur l'endogyrisme a été répertoriée (P. C. Munuera, JM ; Dominguez, G ; Lafuente, G, 2010). Cette étude a mesuré l'angle de démarche chez les enfants atteints d'endogyrisme peu importe l'étiologie de cette démarche et a montré une amélioration significative instantanée de l'angle de la marche chez les participants lorsqu'ils portaient l'orthèse plantaire avec l'extension au 5^e orteil comparativement à lorsqu'ils étaient pieds nus. Les principales limitations de cette étude sont qu'elle ne comportait pas de groupe contrôle et que l'efficacité à plus long terme du traitement orthésique n'a pas été mesurée. Une étude récente a montré que l'orthèse plantaire accompagnée d'une plaque de dérotation causait une abduction significative

instantannée de la démarche de l'enfant atteint d'antétorsion fémorale (Ganjehie, Saeedi, Farahmand, & Curran, 2017). Ces derniers auteurs ont étudié l'angle de marche chez les enfants lors de la marche pieds-nus, avec chaussures et chaussures accompagnées d'orthèses plantaires comportant une plaque de dérotation. Cette étude ne comporte aucun groupe contrôle et l'effet à long terme du traitement n'a pas été étudié.

Ainsi, pour traiter la démarche en adduction causée soit par un *metatarsus adductus*, une torsion tibiale interne, une antétorsion fémorale ou bien encore une rotation fémorale interne, certains cliniciens font appel aux traitements conservateurs. Les plaques de dérotation ainsi que les orthèses plantaires semi-rigides accompagnées d'un prolongement en polypropylène jusqu'au cinquième orteil ont montré leur utilité (P. C. Munuera, JM ; Dominguez, G ; Lafuente, G, 2010). Cependant, la problématique qui résulte de ces études provient du fait qu'aucune d'entre-elles ne comportait un groupe contrôle et que l'étiologie de l'endogyrisme n'était pas distinguée dans la plupart sauf pour l'étude de Ganjehie et al. (2017). De plus, Redmond (2000) se base uniquement sur un questionnaire rempli par les parents concernant la fréquence des chutes pour évaluer l'enfant avant et après 1 mois de traitement avec la plaque de dérotation.

Quelques études scientifiques ont été réalisées à propos des différentes déformations torsionnelles, sur l'évolution physiologique et sur l'effet des traitements conservateurs (Briggs & Carlson, 1990). Il a été observé que 90% des enfants ayant un *metatarsus adductus* à la naissance subissent une résolution spontanée de cette déformation

torsionnelle à l'intérieur de la première année de vie et qu'on retrouve ce type de difformité chez uniquement 5% des adultes. Il a été montré que les cas de résolution spontanée sont des *metatarsus adductus* légers ou modérés et qu'ils sont flexibles (Ponseti, Farsetti, Weinstein, & Ponseti, 1994). Les manipulations du type massages amenant l'avant-pied en abduction, en s'assurant de tenir le calcaneum en position neutre, sont suffisantes pour les *metatarsus adductus* flexibles. Cependant, si le clinicien ne remarque aucune amélioration après 7 ou 8 mois ou que la difformité est rigide, une série de plâtre Ponseti est efficace (Dietz, 1994). Il a été observé que l'utilisation des barres Denis-Brown pour le traitement des *metatarsus adductus* et des *pes talipes equino varus* entraînent une augmentation de l'incidence de *pes plano valgus* lors des rencontres de suivi (Berg, 1986).

Une résolution spontanée ou naturelle de la torsion tibiale interne survient dans 90 à 95% des cas avant l'âge de huit ans (Dietz, 1994; Staheli, 1994). La position couchée sur le ventre en plus de la position assise sur les genoux avec les pieds pointant vers l'intérieur sont des habitudes posturales à adopter qui semblent aider la résolution de la torsion tibiale interne. Plusieurs études ont démontré l'inefficacité des attelles de nuit, des orthèses plantaires et des corrections intrinsèques apportées à la chaussure pour les cas de torsion tibiale interne (Sass & Hassan, 2003; Staheli, 1994).

Par ailleurs, l'antétorsion fémorale excessive se résout de façon spontanée généralement vers l'âge de 7 ou 8 ans chez plus de 95% des personnes atteintes. Cette étiologie de démarche en adduction peut amener une compensation unique si elle persiste toujours en

début d'adolescence. Cette compensation est caractérisée par une torsion tibiale externe. Cet état est appelé syndrome torsionnel de mal alignement et entraîne généralement de la douleur au niveau de la face antérieure du genou (Bruce & Stevens, 2004; Delgado, Schoenecker, Rich, & Capelli, 1996; Radler et al., 2010). Afin d'éviter l'avènement de ce syndrome chez les adolescents atteints d'antétorsion fémorale, une ostéotomie s'avère efficace. Les indications pour procéder à une ostéotomie du fémur sont les suivantes: une antétorsion fémorale supérieure à 45 degrés, une impossibilité de rotation externe de la hanche au-delà de 0 degré (position neutre), une incapacité fonctionnelle et une sévère difformité esthétique. Pendant plusieurs années, les barres de dérotation et les attelles ont été utilisées pour les difformités telles que la torsion tibiale et la torsion fémorale. Plusieurs études ont montré une efficacité non significative de ces traitements conservateurs face aux problèmes torsionnels du membre inférieur (Briggs & Carlson, 1990; Dietz, 1994).

La torsion fémorale interne est maximale à la naissance, soit environ 30 degrés, et tend à décroître avec l'âge. Cependant, une angulation du fémur vers l'intérieur en position debout peut être plus visible entre trois et sept ans. Ceci vient du fait que les nouveau-nés ont une grande contracture des tissus mous au niveau externe de la hanche (Pitkow, 1975). Cette dernière provient de la position en rotation externe de la hanche dans l'utérus (Cibulka, 2004). Lorsque l'enfant commence à marcher, la contraction des tissus au niveau externe de la hanche se résout graduellement. Ainsi, une antétorsion fémorale excessive peut être dissimulée lors des premières années d'acquisition de la marche de

l'enfant. Par ailleurs, l'implication d'une autre composante que l'antétorsion fémorale dans la rotation fémorale interne a été soulevée par quelques études (Gelberman et al., 1987). Certains facteurs comme la contraction des rotateurs internes, la contraction de la capsule articulaire antérieurement, la forme anormale de l'acétabulum ainsi que l'inclinaison du pelvis ont été soulevés (Weseley, Barenfeld, & Eisenstein, 1981). Par ailleurs, il a été démontré que les ligaments iliofémoral et pubofémoral amènent une limitation de la rotation externe. Ainsi, leur implication dans le phénomène de rotation fémorale interne chez l'enfant et l'adolescent semble évidente en plus des causes probables énumérées ci-dessus.

CHAPITRE 2

Problématique

Il existe peu de littérature scientifique traitant de l'endogyrisme et les dernières études datent de plusieurs années et sont de qualité méthodologique faible. La plupart des auteurs se sont penchés sur l'effet instantané de l'orthèse et n'ont pas étudié l'effet à long terme par rapport à l'évolution physiologique de l'enfant. Par ailleurs, aucune étude scientifique n'a différencié les différentes étiologies entraînant l'endogyrisme et le traitement orthésique. Ainsi, aucune étude n'a été recensée à propos de l'étiologie rotationnelle fémorale entraînant une démarche en adduction. Enfin, l'utilisation de l'orthèse plantaire ayant une plaque de dérotation sur l'endogyrisme est un traitement couramment utilisé pour traiter l'endogyrisme, mais peu d'études sont répertoriées à ce sujet. Ainsi, cette modalité thérapeutique a été peu étudiée au cours des dernières années et les effets sur la fonctionnalité, la psychomotricité et la variabilité de la marche chez l'enfant restent encore inconnus. L'objectif principal de cette étude est de comparer l'efficacité du traitement orthésique à l'observation sur le développement moteur, la fonctionnalité et la variabilité de la démarche chez l'enfant présentant une rotation fémorale interne entraînant une démarche en adduction. Un objectif secondaire est de documenter la population à l'étude au niveau de son développement moteur et les effets des interventions courantes sur le développement moteur de l'enfant. Ainsi, nous supposons qu'un traitement orthésique de six mois chez les enfants présentant une

rotation fémorale interne 1) diminuera la variabilité de la démarche, 2) affectera le développement moteur et la fonctionnalité de l'enfant.

CHAPITRE 3

Méthodologie

L'étude réalisée est de type quasi-expérimental avec un devis d'étude croisé (« crossover design ») et visait à évaluer l'efficacité du traitement orthésique chez les enfants atteints de rotation fémorale interne. Le recrutement des participants a été réalisé en partie à la Clinique podiatrique de l'UQTR (CPUQTR), dans les centres de la petite enfance (CPE) de la Mauricie et à travers les médias locaux et les médias sociaux. Le projet a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec de Trois-Rivières (CER-14-199-07-18).

1. Design de l'étude

L'étude se déroulait sur une période de douze mois et chaque participant était soumis à deux interventions distinctes. Après une randomisation à l'aveugle, la moitié des participants a été assignée à l'intervention contrôle (période observation) qui consistait à observer l'évolution de la condition alors que l'autre moitié a été assignée à une intervention de type orthésique (période orthèses) pour une période de 6 mois. À la suite de cette première intervention, les participants étaient soumis à l'autre intervention pour une période de 6 mois également selon un devis croisé (Figure 3).

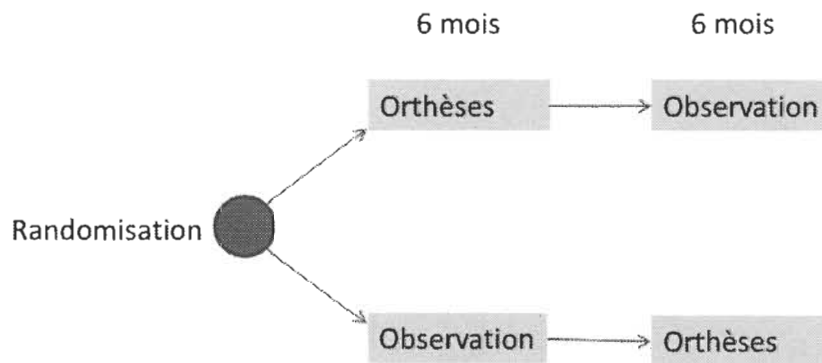


Figure 3 : Devis d'étude croisé

2. Participants

L'échantillon de participants était composé de neuf enfants âgés entre 4 et 8 ans et présentant un endogyrisme associé à une rotation fémorale interne. Une rencontre était prévue à la Clinique Podiatrique Universitaire de Trois-Rivières (CPUQTR) pour une discussion préliminaire afin de s'assurer de l'admissibilité des participants au projet de recherche selon les critères d'inclusion et d'exclusion.

Tableau 2 : Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
<ul style="list-style-type: none">- Être âgés entre 4 et 8 ans- Être atteint d'endogyrisme uni ou bilatéral associé à une rotation fémorale interne	<ul style="list-style-type: none">- Être atteint d'une maladie neuromusculaire- Avoir un historique de chirurgie orthopédique du fémur

Onze participants ont été rencontrés afin de déterminer l'origine de l'endogyrisme et neuf d'entre-eux ont été retenus pour participer au projet. Un participant a abandonné l'étude suite à la remise de ses orthèses lors de la période orthèses. Par ailleurs, un parent d'une participante n'a pas complété le questionnaire CHAQ de façon appropriée lors du suivi final de la période orthèses. La période de recrutement s'est déroulée d'avril 2014 à décembre 2014.

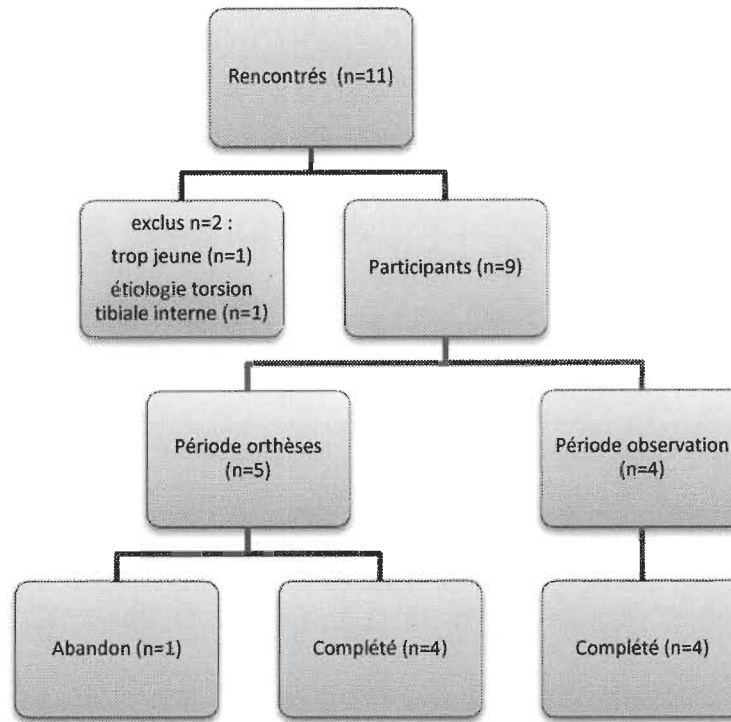


Figure 4 : Recrutement et suivi des patients

3. Protocole expérimental

3.1 Examen clinique

L'examen clinique était réalisé aux rencontres initiale et finale du projet. Cet examen comprenait l'amplitude de mouvement en rotation interne et externe de la hanche mesurée avec un goniomètre. Pour se faire, l'évaluateur demandait à l'enfant de se coucher sur le dos avec la hanche en extension et la hanche en flexion. Les amplitudes de rotation en interne et en externe de la hanche étaient ainsi mesurées avec le goniomètre. Finalement, le *Foot Posture Index (FPI)* qui est un outil de caractérisation du pied, était effectué pour chaque enfant. Sa fiabilité a été montrée par plusieurs auteurs (Redmond, Crane, & Menz, 2008; Redmond, Crosbie, & Ouvrier, 2006). Cet outil a été utilisé par quelques auteurs auprès de la population pédiatrique. Par exemple, une étude a étudié l'alignement du pied chez les enfants atteints de la maladie de Charcot-Marie-

Tooth (Burns et al., 2012). Sa validité chez les enfants a aussi été montrée, soit $r = 0,88$ (S. C. Morrison & Ferrari, 2009). Il comprend six composantes qui reçoivent chacune une cote entre -2 et +2, où un chiffre positif suggère une pronation du pied tandis qu'un chiffre négatif suggère un pied en supination.

FPI

où + : pronation

où - : supination

Indice de posture du pied										
droite						gauche				
-2	-1	0	+1	+2	Tête talaire	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	Courbe	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	Malléolaire	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	PRC	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	Arche	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	Proéminence	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	talo-nav	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	Avant /	-2	-1	0	+1	+2
-2	-1	0	+1	+2	Arrière-pied	-2	-1	0	+1	+2

Figure 5 *Foot Posture Index (FPI)*

3.2 Fonctionnalité et développement de l'enfant

La fonctionnalité de l'enfant a été mesurée à l'aide de la version française du Children Health Assessment Questionnaire (CHAQ). Un parent ou un tuteur devait remplir le

questionnaire à chacune des visites. La validité de ce questionnaire a été démontrée dans plusieurs études en ce qui concerne la fonctionnalité des enfants atteints d'arthrite rhumatoïde ou de paralysie cérébrale (Klepper, 2003; Morales et al., 2008). Cet outil était utilisé pour la première fois auprès d'enfants atteints d'endogyrisme dans notre étude. Il comprend plusieurs questions divisées en huit catégories (s'habiller, se lever, manger, marcher, hygiène, atteindre, saisir, activités). Chaque catégorie comprend au moins deux composantes devant être évaluées. Chacune d'entre-elle doit être située par le parent entre « aucune difficulté à effectuer la tâche » et « l'incapacité à effectuer cette dernière ». Par la suite, un résultat se situant entre 0 à 3 est attribué à chaque tâche (où 0 : aucune difficulté à faire la tâche et 3 : incapacité à faire la tâche). Le résultat de la composante la plus élevée dans chaque catégorie détermine le score attribué pour cette dernière. L'échelle d'incapacité est obtenue en additionnant d'abord les scores des catégories et en divisant cette somme par le nombre de catégorie complétée. L'échelle d'incapacité se situe entre 0 et 3. La douleur est aussi mesurée dans le CHAQ. Elle est quantifiée grâce à une échelle de douleur et son score se situe aussi entre 0 et 3.

Le test de psychomotricité d'Ulrich et al. (2004) a permis d'évaluer le niveau de développement moteur des enfants. Le test d'Ulrich a été administré par un évaluateur formé à cet effet. Ce test a été effectué à la Clinique Universitaire de Kinésiologie (CUK) de l'UQTR. Le Test de développement moteur Ulrich (test Ulrich) est administré à tous les enfants à la rencontre au jour 1 et lors du suivi à 12 mois. Ce test comprend 12 épreuves de motricité globale divisées également en deux catégories : 6 épreuves de

locomotion (course, galoper, saut à cloche-pied, pas-de-géant, saut en longueur et pas glissés) et 6 épreuves de contrôle d'objet (frapper une balle stationnaire, dribbler stationnaire, attraper, botter, lancer par-dessus l'épaule et lancer par-dessous l'épaule). L'examineur a procédé à l'évaluation après avoir donné une explication verbale et fait une démonstration de chacune des épreuves, après avoir alloué un essai de pratique pour chaque épreuve et avoir donné une démonstration supplémentaire aux enfants qui ne semblaient pas comprendre la tâche demandée. Chaque épreuve comporte entre trois et cinq critères d'évaluation. Ces critères correspondent à des caractéristiques d'un patron de mouvement considéré comme étant mature. Si la présence d'un critère est observée, la cote de « 1 » est attribuée à ce dernier. Dans le cas contraire, la cote « 0 » est desservie. Aucune cote intermédiaire (par exemple 0,5) ne peut être attribuée. Pour chaque épreuve, l'examineur fait la somme des deux essais pour donner un score brut. Par la suite, les résultats sont additionnés pour attribuer un score brut total pour chaque catégorie (soit celui de locomotion et celui de contrôle d'objet). Les résultats sont par la suite standardisés, additionnés ensemble et convertis pour établir le quotient de motricité globale. Chacune des épreuves était filmée afin de procéder à l'évaluation des différents critères de façon plus précise. La durée de passation de ce test psychomoteur était d'environ vingt minutes et il a été réalisé à chacune des rencontres.

Tableau 3 Signification de la valeur de quotient de motricité globale (Ulrich, 2000)

Évaluation descriptive de la motricité globale	Quotient de motricité global	Percentile
Très supérieur	> 130	99 ^e
Supérieur	121-130	92-98 ^e
Au-dessus de la moyenne	111-120	76-91 ^e
Dans la moyenne	90-110	25-75 ^e
En-dessous de la moyenne	80-89	10-24 ^e
Faible	70-79	2-9 ^e
Très faible	>70	>1 ^{er}

3.3 Évaluation de la démarche

La vitesse normale de marche, sur tapis roulant, a été établie, pour chaque enfant, à l'aide d'un protocole utilisé pour l'analyse de démarches pédiatriques (Maltais, Bar-Or, Galea, & Pierrynowski, 2001; B. D. Ulrich, Haehl, Buzzi, Kubo, & Holt, 2004). Ce protocole a été complété pour chacune des rencontres. Il consiste à faire marcher les enfants sur une allée d'une longueur de 10 mètres, à trois reprises, et de faire la moyenne des vitesses mesurées (distance parcourue/temps). La vitesse de marche ainsi obtenue sur l'allée de marche (V_{cA}) permet d'estimer la vitesse confortable sur tapis (V_{cT}) qui correspond à 75% de la V_{cA} et la vitesse élevée sur tapis (V_{eT}) qui est fixée de façon sécuritaire à 100% de la V_{cA} (Ulrich, Haehl et al. 2004). Une période de 5 minutes de marche à V_{cT} a été allouée à nos participants afin de se familiariser avec la marche sur tapis roulant. Au besoin, les participants ont pu utiliser une main courante ou la main d'un évaluateur qu'ils ont été amenés à lâcher graduellement au cours de la

familiarisation. La familiarisation a été suivie de 2 périodes de 3 minutes de marche.

Une première à V_{CT} et une deuxième à V_{ET} .

3.4 Accélérométrie

Un accéléromètre 3D sans-fils (Delsys Trigno system, USA) a été positionné sur la jambe gauche (muscle semi-tendineux) des participants. Les accélérations ont été enregistrées à une fréquence d'échantillonnage de 1926 Hz. La courbe d'accélérations axiales a permis d'identifier avec précision les impacts du talon avec le sol et d'ainsi segmenter les cycles de marche (Sinclair, Hobbs, Protheroe, Edmundson, & Greenhalgh, 2013).

3.5 Interventions

Période observation

La période observation servait de condition contrôle et consistait à un suivi sur une période de 6 mois suite à une remise de conseils à propos de la pathologie (explication de la pathologie et évitement de la position assise en W en tout temps). Des conseils sur le port d'une chaussure avec un renfort rigide ont été donnés.

Période orthésique

Une paire d'orthèses plantaires fonctionnelles a été confectionnée au laboratoire d'orthèses plantaires de l'UQTR pour chaque participant. Le matériel utilisé a été du polypropylène de 3,5mm d'épaisseur. Les orthèses ont été faites sur mesure grâce à un moulage sans charge effectué par un podiatre avec du plâtre de Paris. Afin de procéder

au moulage des pieds, le participant a été positionné en décubitus ventral sur une table avec les pieds dépassant de celle-ci. Le podiatre a humidifié des feuilles de plâtre de Paris et les a installées sur le pied et a maintenu ce dernier en position neutre, c'est-à-dire lorsque le naviculaire et le talus sont en congruence. La prise d'empreinte nécessaire à la fabrication des orthèses s'est faite lors de la rencontre précédant l'intervention orthésique (groupe 1 = évaluation initiale; groupe 2 = suivi 6 mois). Un délai de 2 semaines a été nécessaire afin de permettre à l'orthésiste du laboratoire de confectionner l'orthèse en question à partir des moulages de pieds. Un protocole d'adaptation à l'orthèse sur une période de 2 semaines, à raison de l'ajout d'une heure de port de l'orthèse par jour, a été dicté au parent. L'orthèse plantaire employée pour chaque participant comprenait une extension du polypropylène au niveau latéral du 4^e et 5^e orteil (plaque de dérotation). L'intervention orthésique s'est déroulée aussi pendant 6 mois, tout comme la période observation.

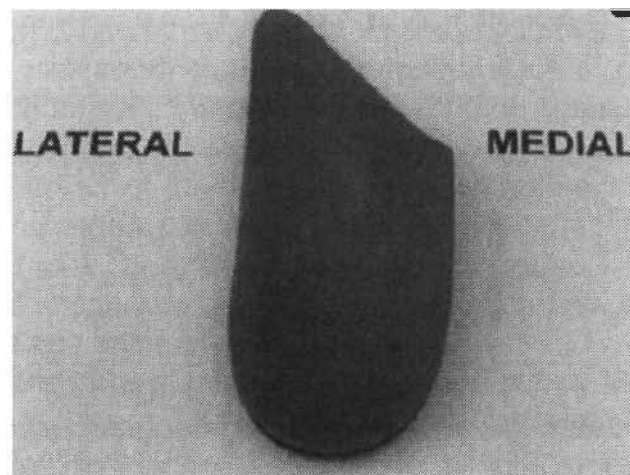


Figure 6 : Plaque de dérotation (Tiré de Redmond 1998)

3. Analyse des données

Afin d'éviter les effets d'adaptation et de fatigue, la durée des cycles de marche a été mesurée entre la 20^{ième} et la 40^{ième} seconde de la deuxième minute de collecte de données pour chacune des conditions expérimentales. Les durées des cycles de marche ont permis de calculer les moyennes et les écart-types nécessaires au calcul des coefficients de variation (CV) pour chacun des participants et chacune des conditions expérimentales.

$$CV = \frac{Ecart-type}{Moyenne} \times 100$$

4. Analyses statistiques

Des statistiques descriptives ont été calculées pour les données descriptives et cliniques. Des tests-t de Student pour échantillons dépendants ont permis la comparaison des données cliniques entre la première et la dernière rencontre. Des ANOVA à mesures répétées ont été effectuées pour comparer les coefficients de variabilité, les scores du test d'Ulrich et les résultats du questionnaire CHAQ. Lorsque nécessaire, les ANOVA ont été complétées par un test post hoc de type Tuckey HSD. Pour l'ensemble des tests statistiques, le seuil de signification a été fixé à 5%.

CHAPITRE 4

Résultats

1. Données descriptives et évaluations cliniques

Huit enfants âgés entre 44 et 103 mois (moyenne=68 mois) ont participé à cette étude (Tableau 4). Aucune différence significative n'a été observée pour l'ensemble des variables cliniques mesurées. Les moyennes et écart-types pour les évaluations cliniques initiales et finales sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 4 : Données descriptives de la population

Nombre de participants (H/F)	8 (1/7)
Âge moyen en mois (écart-type)	68 (22,26)

Aucune différence significative n'a été observée au niveau des mesures cliniques entre la première et la dernière rencontre. Les valeurs moyennes et écart-types sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Données cliniques initiales et finales de la population

Données descriptives	Évaluation initiale Moyenne (écart-type)	Évaluation finale Moyenne (écart-type)	P
FPI pied gauche moyen (-12 à +12)	+ 6,6 (1,7)	+ 4,8 (3,4)	0,06
FPI pied droit moyen (-12 à +12)	+ 6,8 (1,8)	+ 5,9 (3,8)	0,45
RFI extension gauche (°)	57,1 (10,8)	53,8 (7,4)	0,46
RFI extension droit (°)	51,1 (12)	48,1 (5,9)	0,67
RFI flexion finale gauche (°)	60,9 (12,3)	56,9 (9,6)	0,38
RFI flexion finale droit (°)	54,6 (17,5)	53,1 (8,0)	0,78
RFE extension gauche (°)	39,4 (13,2)	42,5 (2,7)	0,50
RFE extension droit (°)	43,3 (11,8)	44,6 (2,9)	0,74
RFE flexion finale gauche (°)	47,4 (10,0)	43,1 (3,7)	0,29
RFE flexion finale droit (°)	52,0 (7,5)	46,3 (4,4)	0,14

2. Fonctionnalité et développement de l'enfant

Résultats individuels

En raison de la faible taille de l'échantillon liée à la difficulté du recrutement, de l'hétérogénéité de l'échantillon au niveau de l'âge et de la particularité clinique de chacun des participants, une analyse individuelle a été réalisée. Ainsi, le tableau 6 montre les résultats de l'évaluation de l'échelle de douleur, de l'évaluation globale (CHAQ) et de l'index d'incapacité (CHAQ) pour chacun des participants. Les résultats individuels montrent des tendances différentes selon les participants. Les participants 2 et 8 se démarquent de façon importante à propos de l'amélioration de ces variables. Effectivement, on remarque que lors de la période orthèses, les participants présentent un changement négatif comparativement à la période observation. D'un autre côté, l'effet contraire a été observé chez le participant 9. Les autres participants ont présenté des profils variés.

Tableau 6 : Comparaison de l'index d'incapacité, de l'évaluation globale et de l'échelle de douleur au cours des périodes orthèses et observation

Participant (P)	Échelle d'incapacité changement période orthèses	Échelle d'incapacité changement période observation	Évaluation globale changement période orthèses	Évaluation globale changement période Observation	Échelle douleur changement période orthèses	Échelle douleur changement période observation
2	-0,2	0,6	-0,4	0,3	-0,6	0,7
3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4	0	-0,4	-0,3	-0,7	0,1	0
5	-0,6	0	0	0	0	0
6	-0,1	-0,2	0	0	0	-0,3
7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
8	-0,3	0	-0,7	0,4	-0,6	0,1
9	0,4	-1	0	-0,5	0	-0,2

Les tableaux 7, 8 et 9 montrent les changements individuels des variables du test d'Ulrich selon les périodes orthèses ou observation (score standardisé de locomotion, score standardisé de motricité et quotient de motricité globale). On remarque dans le tableau 9 un changement positif important du quotient de motricité lors de la période orthèses chez les participants 4 et 5 comparativement à la période observation (15 vs 6 pour le participant 4 et 24 vs -3 pour la participante 5). Plus particulièrement, le participant 4 est atteint de dyspraxie et le participant 5 est le plus jeune de l'étude. Encore une fois, on remarque l'effet contraire chez la participante 9 (-9 vs 15). La figure 7 montre le changement dans la valeur du quotient de motricité pour chaque participant pendant la période observation et celle orthésique.

Tableau 7 : Comparaison du score standardisé de locomotion du test Ulrich pour les périodes orthèses et observation

Participants	Score stand locomotion pré orthèses	Score stand locomotion post orthèses	Score stand locomotion pré observation	Score stand locomotion post observation	Changement période orthèses Score stand locomotion	Changement période observation Score stand locomotion
2	13	16	11	12	3	1
3	13	13	13	13	0	0
4	9	12	7	9	3	2
5	10	14	14	16	4	2
6	16	16	15	16	0	1
8	11	13	13	13	2	0
9	17	16	13	16	-1	3

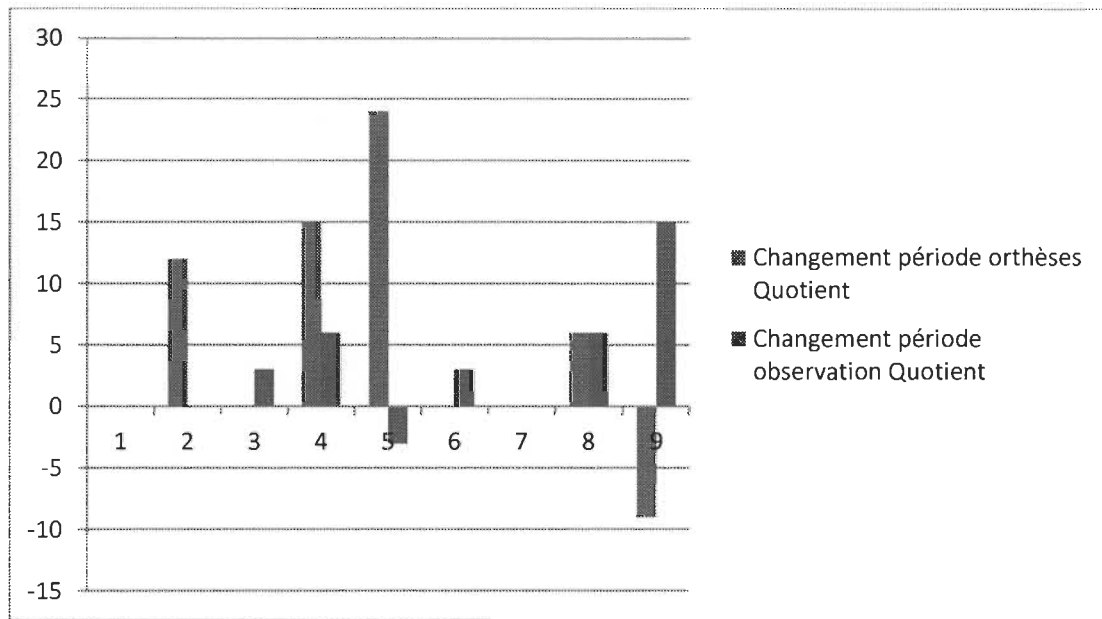
Tableau 8 Comparaison des scores standardisés de motricité du test Ulrich pour les périodes orthèses et observation

Participants	Score stand motricité pré orthèses	Score stand motricité post orthèses	Score stand motricité pré observation	Score stand motricité post observation	Changement période orthèses Score stand motricité	Changement période observation Score stand motricité
2	15	16	14	13	1	-1
3	8	8	8	9	0	1
4	6	8	6	6	2	0
5	12	16	16	13	4	-3
6	15	15	15	15	0	0
8	11	11	11	12	0	1
9	15	13	13	15	-2	2

Tableau 9 Comparaison des quotients du test Ulrich pour les périodes orthèses et la période observation

Participant	Quotient pré orthèses	Quotient post orthèses	Quotient pré observation	Quotient post observation	Changement période orthèses Quotient	Changement période observation Quotient
2	124	136	115	115	12	0
3	103	103	103	106	0	3
4	85	100	79	85	15	6
5	106	130	130	127	24	-3
6	133	133	130	133	0	3
8	106	112	112	118	6	6
9	136	127	118	133	-9	15

Figure 7 : Changement dans la valeur du quotient de motricité selon la période orthèses et celle observation



3. Coefficient de variabilité et vitesse de marche

Coefficient de variabilité

À vitesse de marche confortable, le tableau 10 suggère qu'il n'y a aucune différence entre les sessions (Temps) ni entre les interventions. Une tendance à la diminution du coefficient de variabilité a toutefois été notée pour la période orthèses. À vitesse rapide, la figure 8 suggère une Interaction entre les facteurs Temps (avant-après) et Intervention (sans et avec orthèse) alors que le coefficient de variation diminue après la période orthèse alors qu'il augmente légèrement après l'observation.

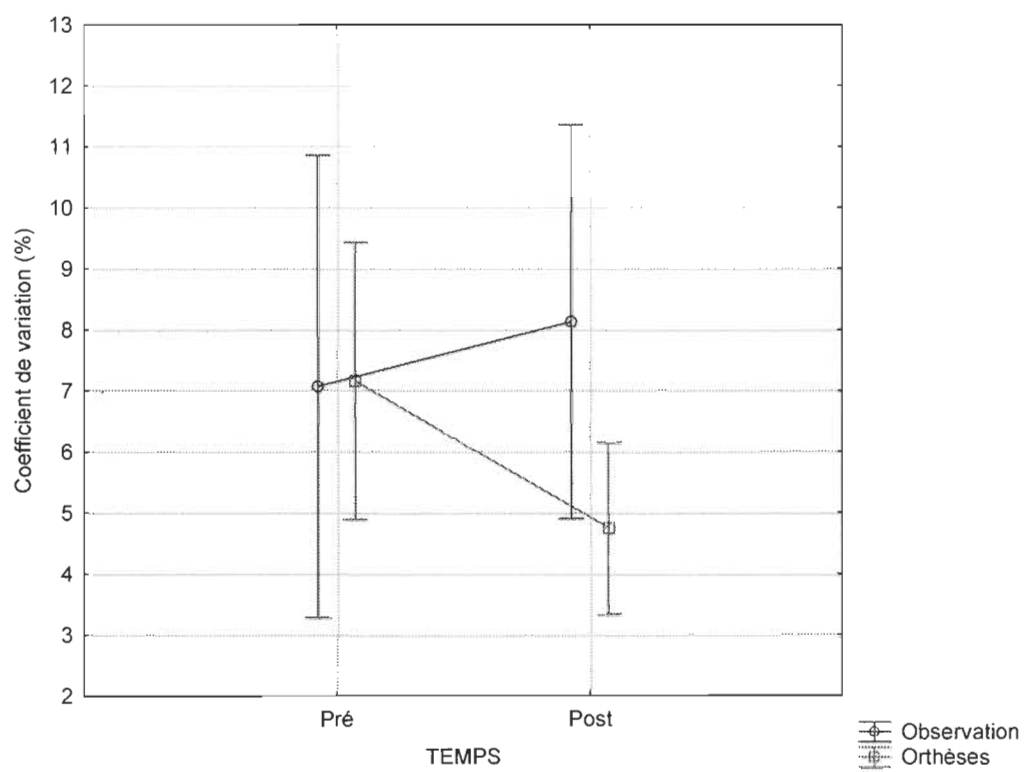


Figure 8 Coefficient de variation pré et post interventions

Tableau 10 Moyenne et écart-type du coefficient de variation à vitesse élevée pré et post les périodes d'observation et d'orthèses

	Observation		Orthèses	
	Pré	Post	Pré	Post
Coefficient de variation vitesse confortable (%)	7,82 (2,53)	8,70 (2,80)	8,02 (3,47)	6,22 (1,52)
Coefficient de variation vitesse élevée (%)	7,07 (4,53)	8,13 (3,86)	7,16 (2,72)	4,74 (1,68)
CHAQ-incapacité	0,45 (0,46)	0,28 (0,47)	0,50 (0,24)	0,37 (0,43)
CHAQ-douleur	0,33 (0,31)	0,10 (0,11)	0,32 (0,32)	0,23 (0,38)
Ulrich- score locomotion	12,29 (2,63)	13,57 (2,64)	12,70 (2,98)	14,29 (1,70)
Ulrich- score motricité	12,00 (3,83)	11,86 (3,29)	11,71 (3,64)	12,43 (3,51)
Ulrich- Quotient	113,29 (18,40)	120,14 (14,87)	112,43 (17,61)	116,71 (17,13)

Discussion

L'objectif principal de cette étude était de comparer l'efficacité du traitement orthésique à l'observation sur le développement moteur, la fonctionnalité et la variabilité de la démarche chez l'enfant présentant une rotation fémorale interne entraînant une démarche en adduction. L'endogyrisme est une morphologie du membre inférieur couramment rencontrée chez les enfants. Cette condition peut provenir de la déformation rotationnelle entraînant une contracture des ligaments pubo-fémoraux et ischio-fémoraux. Une des principales répercussions que l'endogysime peut avoir et qui est rapporté comme raison de consultation par les parents est qu'il augmente l'instabilité de la démarche des enfants et entraîne de nombreuses chutes (Redmond, 2000; Uden & Kumar, 2012).

Nos résultats suggèrent que le traitement orthésique sur une période de plusieurs mois diminue la variabilité du patron de marche chez les enfants. En effet, une diminution de la variabilité de la durée de foulée chez les participants présentant un endogyrisme après 6 mois de port d'orthèses plantaires a été observée. Il a été montré que le coefficient de variation de la démarche à vitesse rapide après le port d'une orthèse plantaire pendant 6 mois était diminué. Ce résultat est supporté par une étude qui a montré que l'utilisation d'une orthèse plantaire fonctionnelle faite sur mesure sur une période de 7 semaines entraînait chez le jeune adulte ne présentant aucune pathologie une diminution de 19% de la variabilité de la durée de foulée (Wrobel et al., 2010). Nos résultats vont dans le même sens que d'autres études qui ont porté sur la variabilité de la marche chez l'enfant. La littérature scientifique recense quelques études montrant une tendance à l'amélioration de la coordination grâce au traitement orthésique (George & Elchert, 2007; Selby-Silverstein et al., 2001). Cependant, ces études se sont attardées aux enfants atteints d'un trouble psychomoteur et aucune étude n'a été recensée à propos de l'effet qu'a l'orthèse plantaire sur la coordination chez les enfants sains. Selby-Silverstein et al. (2001) ont étudié l'effet de l'orthèse plantaire sur plusieurs paramètres dont la variabilité de la marche chez l'enfant atteint d'un retard moteur provoqué par le syndrome de Down. Ils ont montré que la variabilité de durée de foulée était significativement diminuée avec l'orthèse plantaire chez ces enfants. Ces auteurs ont comparé la démarche des enfants atteints du syndrome de Down avec et sans orthèses avec celle d'enfants ne présentant aucun troubles de démarche. L'effet de l'orthèse plantaire sur les différents paramètres spatio-temporels de la marche chez l'enfant atteint d'un désordre de

développement et de coordination (dyspraxie) a été montré (Stewart C. Morrison et al., 2013). Cette étude était quasi-expérimentale et comprenait deux groupes, soit le groupe un recevant le traitement orthésique dès le début de l'intervention (physiothérapie de 7 semaines) et le groupe deux recevant l'orthèse qu'à la fin de l'intervention de physiothérapie. Une diminution de la cadence a été observée avec le groupe expérimental tandis que la durée de double support a montré une tendance à l'augmentation lors du traitement orthésique hâtif (sans que les résultats n'atteignent le seuil de signification fixé par les auteurs). Nos résultats et ceux publiés par Wrobel et al. (2010) suggèrent que l'orthèse plantaire améliore le retour d'informations proprioceptives et sensorielles. Nous avons aussi observé que la diminution de la variabilité du patron de démarche a perduré sans orthèses après le traitement orthésique, ce qui suggère que l'orthèse plantaire a entraîné une adaptation musculosquelettique. Cette hypothèse est appuyée par une étude récemment publiée à propos de l'utilisation de l'orthèse plantaire pendant 1 mois et de son effet sur l'activité musculaire. Celle-ci a montré que le port de l'orthèse plantaire pendant 1 mois entraînait une diminution de l'activité musculaire moyenne du muscle tibial antérieur (Moisan & Cantin, 2016). Par ailleurs, l'augmentation de la variabilité du patron de marche a régulièrement été associée à une augmentation du risque de chutes chez la personne âgée (Graveson, Bauermeister, McKeown, & Bunce, 2016; J. Hausdorff, Nelson, Kaliton, & Layne, 2001). Le manque de stabilité posturale chez l'enfant atteint d'un trouble d'acquisition de la coordination a aussi été associé à la variabilité du patron de marche (Rosengren et al., 2009). Le niveau de développement moteur chez l'enfant est mesuré grâce à des

outils comme le test Ulrich. Une amélioration de la psychomotricité (quotient de locomotion et quotient de motricité globale) au courant des 12 mois de suivi a été notée sans qu'aucune différence entre les conditions ne soit observée. La maturation de nos participants explique probablement en grande partie ce résultat. En effet, la perception spatio-temporelle de l'enfant dépend de son âge et surtout de sa grandeur (taille). Dépendamment de sa taille, l'enfant reçoit des informations différentes au niveau de son champ visuel. C'est pour cette raison que certaines habiletés plus complexes s'acquièrent plus tard comparativement à d'autres plus faciles (Rigal 2009). Par ailleurs, le test Ulrich comprend des épreuves sollicitant la qualité de la coordination motrice du sujet (praxies et indépendances segmentaires), la connaissance du corps (schéma corporel), la latéralité, l'organisation spatiotemporelle et perceptivomotrice (Rigal 2009). Le concept de latéralité, c'est-à-dire la préférence d'utilisation de la partie gauche ou droite du corps, s'acquiert seulement vers l'âge de 5 à 6 ans. Dans la présente étude, certains participants étaient âgés de quatre ans lors de la première rencontre, ce qui implique que le principe de latéralité risquait de ne pas être encore tout à fait maîtrisé lors du test Ulrich initial. Cela a pu affecter la performance dans certaines épreuves réalisées qui impliquaient uniquement l'utilisation du côté dominant (par exemple le botter du ballon et le lancer d'une balle). L'observation individuelle des résultats au test d'Ulrich montre une amélioration importante de la psychomotricité chez les deux plus jeunes participants lors de la période orthèses. En effet, ces derniers montrent une amélioration du quotient de motricité (changement période orthèses quotient : respectivement 12 et 24) et une stagnation de ce dernier lors de la période observation

(changement période observation quotient : 0 et -3). Ces résultats individuels suggèrent que l'orthèse plantaire pourrait affecter le développement de la psychomotricité des jeunes enfants d'une façon plus importante. Cette hypothèse devra être validée par des études ultérieures. L'observation individuelle des participants permet aussi de constater que l'enfant atteint de dyspraxie dans notre population montrait un changement supérieur du quotient de motricité lors de la période orthèses comparativement à la période observation (changement période orthèses quotient : 15 et changement période observation quotient : 6). Ce résultat va dans le même sens que certaines études (Buccieri, 2003; K. Martin, 2004). Buccieri (2003) a fait une étude de cas sur un enfant de 25 mois présentant un trouble de développement moteur correspondant à 6 mois selon l'évaluation psychomotrice en plus d'un *pes plano valgus*. Le traitement de physiothérapie avec été couplé avec l'utilisation d'une orthèse plantaire sur une période de 5 mois et l'enfant a acquis un développement moteur de 12 mois lors de cette période. Nos résultats montrent par ailleurs que la fonctionnalité de l'enfant, rapporté de façon qualitative par les parents dans le questionnaire CHAQ, n'a été affectée par ni l'une ni l'autre des interventions. Le CHAQ a été utilisé antérieurement pour évaluer la fonctionnalité des enfants atteints d'arthrite rhumatoïde juvénile et de paralysie cérébrale et la validité et la fidélité ont été montrées pour ces conditions. L'utilisation de ce questionnaire pour évaluer la fonctionnalité des enfants atteints d'endogyrisme n'a jamais fait l'objet d'études scientifiques. Ainsi, la validité et la fidélité du questionnaire n'ont pas été montrées pour cette condition. L'absence d'amélioration significative

concernant les résultats du CHAQ lors de la période orthésique dans cette étude peut être expliquée par plusieurs facteurs.

Limites

La plus grande limite de cette étude est l'hétérogénéité de l'échantillon. En effet, l'échantillon comprenait d'abord presque uniquement des filles et l'âge des participants se situait entre 4 et 8 ans. La raison de ce manque d'homogénéité provient entre-autre de la difficulté associée au recrutement des participants. Au Québec, la podiatrie est principalement pratiquée en milieu privé et n'est pas encore bien connue de la population en général ce qui limite grandement le recrutement de participants. Malgré les nombreuses méthodes de recrutement utilisées, soient la publication d'une annonce dans les médias sociaux et dans le journal local, d'un affichage dans plus d'une dizaine de CPE de la Mauricie et d'une entrevue radiophonique, seulement douze enfants ont été recrutés pour une évaluation préliminaire. Une hypothèse probable de cette difficulté de recrutement peut être la prise en charge hâtive de la problématique par les médecins de famille ou les physiothérapeutes. Ces derniers optent généralement pour un suivi (type observation) lors de cette problématique. Ce petit nombre de participants entraîne comme impact la possibilité d'une distribution anormale des données et une faible puissance statistique.

Ensuite, un manque d'homogénéité de l'échantillon est présent au niveau de la fonctionnalité de l'enfant rapporté par les parents. Certains parents ont mentionné que l'endogyrisme affectant leur enfant entraînait la présence de plusieurs limitations sur la fonctionnalité de l'enfant tandis que d'autres ne voyaient pas de limitations fonctionnelles. De plus, l'évaluateur du CHAQ lors de cette étude a pu être différent lors de la rencontre initiale et finale et il se peut que le parent ayant évalué la fonctionnalité de l'enfant ait une vision différente des répercussions que l'endogyrisme a sur l'enfant, dépendamment du temps passé avec l'enfant à la maison et lors des activités quotidiennes. Ainsi, la complétion du CHAQ par un parent différent à l'une ou l'autre des rencontres a pu affecter la fidélité des résultats.

Dans cette étude, il a été décidé d'utiliser comme condition contrôle l'observation avec la chaussure du participant. Puisque l'enfant a pu grandir des pieds au courant des 12 mois, la chaussure utilisée lors des rencontres, pour prendre les mesures cinématiques, a pu être différente. Un possible biais peut survenir lorsque les résultats et les conclusions obtenues sont altérées par la connaissance de l'intervention reçue par le participant (connaissance que le traitement reçu est le contrôle ou l'expérimental). Dans le cas présent (où les participants étudiés sont des enfants de jeune âge), on peut poser comme hypothèse que ces derniers sont peu affectés par ce biais et ne ressentent pas de découragement face au traitement reçu puisque la préoccupation principale provient généralement du parent. Ainsi, l'analyse quantitative de la psychomotricité de l'enfant grâce au test Ulrich ne risque pas d'avoir été affectée par ce biais tout comme l'analyse

de la démarche. La fonctionnalité de l'enfant, évaluée de façon qualitative par le parent grâce au questionnaire CHAQ, a pu être affectée de son côté par la connaissance de la condition de traitement. Afin d'éliminer ce biais, il aurait pu être envisagé d'utiliser comme intervention contrôle une fausse orthèse avec des rebords de 3mm en polyéthylène (McCormick, Bonanno, & Landorf, 2013).

Il n'existe pas de consensus auprès de la communauté scientifique sur ce que devrait être le groupe contrôle lorsqu'il s'agit d'une étude à propos des orthèses plantaires. Certains auteurs suggèrent que l'objectif de l'intervention contrôle, dans une étude expérimentale impliquant l'orthèse plantaire, devrait être de n'apporter aucune répercussion sur la biomécanique du membre inférieur. Il a été montré qu'une semelle standard plate de 3 mm n'était pas totalement inerte (entraînait des changements biomécaniques) et altérait la distribution des pressions plantaires (Lewinson & Stefanyshyn, 2015; McCormick et al., 2013; Parkes, Maricar, Lunt, & et al., 2013). Pour cette raison, certains auteurs suggèrent l'utilisation de la propre chaussure du participant comme traitement contrôle ou placebo (Lewinson & Stefanyshyn, 2015). D'autres auteurs, de leur côté, mentionnent que le placebo devrait être une semelle plate de 3 mm insérée dans la chaussure du participant (Bonanno, Landorf, & Menz, 2011). Ces derniers s'appuient sur le fait que l'utilisation de la chaussure du participant comme groupe contrôle entraîne un biais de constatation et un sentiment de découragement et de mauvaise prise en charge. Ce biais de constatation peut entraîner l'effet placebo. Ce dernier est une limite importante lorsqu'il s'agit de recherche dans le domaine de la santé. Le parent

questionné peut se sentir pris en charge par un traitement orthésique, ce qui peut affecter positivement sa vision de la progression de la condition. Ceci est un point non négligeable à considérer dans l'analyse des résultats obtenus par questionnaire. L'effet placebo est bien établi dans la communauté scientifique. Il a été montré qu'il y a un lien entre la réponse possible du patient face à un traitement et la manière dont il perçoit ce dernier vis-à-vis ses expériences antérieures (Benedetti & Amanzio, 2011; Colloca & Benedetti, 2005). La plupart des méta-analyses dans le domaine de la santé montrent un taux de réponse au placebo plus élevé chez la population pédiatrique que celle adulte (Weimer et al., 2013). Par ailleurs, les croyances, la vision et l'attitude qu'ont les proches de l'enfant face au traitement thérapeutique ont un impact sur l'effet thérapeutique du traitement (Whalley & Hyland, 2013).

Une autre limite de cette étude est qu'il y a eu, pour des raisons hors de notre contrôle, de nombreux évaluateurs au courant de la période de suivi. Ceci a pu biaiser les résultats lors de la prise de mesures du FPI et de la rotation fémorale. Afin de minimiser ce biais, tous les évaluateurs ont reçu une formation similaire et étaient aveugles aux résultats précédents.

Enfin, la démarche en adduction n'est pas automatiquement associée à un trouble de coordination ou un déficit psychomoteur. Dans notre étude, un seul participant souffrait de dyspraxie associée à une démarche en adduction. La totalité des articles répertoriés concernant l'effet de l'orthèse plantaire sur le développement moteur chez l'enfant implique des participants atteints d'un trouble psychomoteur. Plusieurs auteurs ont

signalé qu'une des principales raisons de consultation en podopédiatrie est la démarche en adduction qui entraîne des chutes fréquentes et des craintes des parents sur les répercussions qu'elle peut avoir sur le futur de l'enfant (Redmond, 2000). Aucun auteur ne s'est penché sur l'impact de l'orthèse plantaire sur le développement de l'enfant qui ne présente aucun trouble psychomoteur, mais uniquement une démarche en adduction. Cette présente étude s'avère donc une piste de réflexion sur l'utilisation clinique de l'orthèse plantaire chez les enfants ne présentant aucun trouble psychomoteur diagnostiqué.

Conclusion

Ce projet de recherche innovateur a permis d'observer les tendances de l'impact qu'à l'orthèse plantaire chez les patients pédiatriques atteints d'endogyrisme causé par une rotation fémorale interne. La prise de mesures objectives concernant l'évolution à moyen terme de la variabilité de la démarche et de l'évolution de la psychomotricité de l'enfant dans le cadre de cette étude est cohérente avec l'utilisation de l'orthèse plantaire pour cette condition médicale. Cette étude montre une diminution de la variabilité du patron de démarche grâce au traitement orthésique sur 6 mois. En raison du faible nombre de participants ainsi que l'hétérogénéité de l'échantillon, les présents résultats doivent être interprétés avec modération. D'autres études sont nécessaires afin conclure que l'utilisation de l'orthèse plantaire à long terme sur plusieurs mois permet, sans l'ombre d'un doute, de diminuer la variabilité de la démarche de l'enfant et entraîne une adaptation musculosquelettique.

BIBLIOGRAPHIE

- Amorim, P. R., Hills, A., & Byrne, N. (2009). Treadmill Adaptation and Verification of Self-Selected Walking Speed: A Protocol for Children. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 80(2), 380-385. doi:10.1080/02701367.2009.10599574
- Beauchet, O., Allali, G., Annweiler, C., Bridenbaugh, S., Assal, F., Kressig, R. W., & Herrmann, F. R. (2009). Gait Variability among Healthy Adults: Low and High Stride-to-Stride Variability Are Both a Reflection of Gait Stability. *Gerontology*, 55(6), 702-706. doi:10.1159/000235905
- Benedetti, F., & Amanzio, M. (2011). The placebo response: How words and rituals change the patient's brain. *Patient Education and Counseling*, 84(3), 413-419. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.pec.2011.04.034>
- Bennett, B. C., Russell, S. D., & Abel, M. F. (2012). The effects of ankle foot orthoses on energy recovery and work during gait in children with cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, 27(3), 287-291. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.09.005>
- Berg, E. E. (1986). A reappraisal of metatarsus adductus and skewfoot. *J Bone Joint Surg Am*, 68(8), 1185-1196.
- Bleck, E. E. (1983). Metatarsus adductus: classification and relationship to outcomes of treatment. *J Pediatr Orthop*, 3(1), 2-9.
- Bonanno, D. R., Landorf, K. B., & Menz, H. B. (2011). Pressure-relieving properties of various shoe inserts in older people with plantar heel pain. *Gait Posture*, 33. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.12.009
- Brenière, Y., & Bril, B. (1988). Why do children walk when falling down while adults fall down in walking? *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série III, Sciences de la vie*, 307(11), 617.
- Briggs, R. G., & Carlson, W. O. (1990). The management of intoeing: a review. *S D J Med*, 43(2), 13-16.
- Bruce, W. D., & Stevens, P. M. (2004). Surgical correction of miserable malalignment syndrome. *J Pediatr Orthop*, 24(4), 392-396.
- Buccieri, K. M. (2003). Use of orthoses and early intervention physical therapy to minimize hyperpronation and promote functional skills in a child with gross motor delays: a case report. *Phys Occup Ther Pediatr*, 23(1), 5-20.
- Burns, J., Ouvrier, R., Estilow, T., Shy, R., Laurá, M., Eichinger, K., . . . Finkel, R. S. (2012). Symmetry of foot alignment and ankle flexibility in paediatric Charcot-Marie-Tooth disease. *Clinical Biomechanics*, 27(7), 744-747. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2012.02.006>
- Campbell SK, V. L. D., Palisano RJ. (2006). *Physical therapy for children*. St-Louis, MO: Saunders.
- Cappello, T., & Song, K. M. (1998). Determining treatment of flatfeet in children. *Curr Opin Pediatr*, 10(1), 77-81.
- Chang, M. D., Shaikh, S., & Chau, T. (2009). Effect of treadmill walking on the stride interval dynamics of human gait. *Gait & Posture*, 30(4), 431-435. doi:10.1016/j.gaitpost.2009.06.017

- Chau, T., & Rizvi, S. (2002). Automatic stride interval extraction from long, highly variable and noisy gait timing signals. *Human Movement Science*, 21(4), 495-514.
doi:10.1016/S0167-9457(02)00125-2
- Cibulka, M. T. (2004). Determination and significance of femoral neck anteversion. *Phys Ther*, 84(6), 550-558.
- Cioni, M., Cocilovo, A., Rossi, F., Paci, D., & Valle, M. S. (2001). Analysis of ankle kinetics during walking in individuals with Down syndrome. *Am J Ment Retard*, 106(5), 470-478.
doi:10.1352/0895-8017(2001)106<0470:aoakdw>2.0.co;2
- Cleland, J. (2007). Chapitre 7 - Hanche et bassin *Examen clinique de l'appareil locomoteur* (pp. 241-274). Paris: Elsevier Masson.
- Colloca, L., & Benedetti, F. (2005). Placebos and painkillers: is mind as real as matter? *Nat Rev Neurosci*, 6(7), 545-552.
- Cupp, T., Oeffinger, D., Tylkowski, C., & Augsburger, S. (1999). Age-related kinetic changes in normal pediatrics. *J Pediatr Orthop*, 19(4), 475-478.
- Delgado, E. D., Schoenecker, P. L., Rich, M. M., & Capelli, A. M. (1996). Treatment of severe torsional malalignment syndrome. *J Pediatr Orthop*, 16(4), 484-488.
- Dietz, F. R. (1994). Intoeing--fact, fiction and opinion. *Am Fam Physician*, 50(6), 1249-1259, 1262-1244.
- Ehrenstein, V. (2009). Association of Apgar scores with death and neurologic disability. *Clin Epidemiol*, 1, 45-53.
- Fabry, G., Cheng, L. X., & Molenaers, G. (1994). Normal and abnormal torsional development in children. *Clin Orthop Relat Res*(302), 22-26.
- Fairley, J. A., Sejdić, E., & Chau, T. (2010). An investigation of stride interval stationarity in a paediatric population. *Human Movement Science*, 29(1), 125-136.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2009.09.002>
- Froehle, A. W., Nahhas, R. W., Sherwood, R. J., & Duren, D. L. (2013). Age-related changes in spatiotemporal characteristics of gait accompany ongoing lower limb linear growth in late childhood and early adolescence. *Gait Posture*, 38(1), 14-19.
doi:10.1016/j.gaitpost.2012.10.005
- Gallahue, D. L. (2006). *Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults* (B. McGraw-hill Ed.).
- Ganjehie, S., Saeedi, H., Farahmand, B., & Curran, S. (2017). The efficiency of gait plate insole for children with in-toeing gait due to femoral antetorsion. *Prosthetics and Orthotics International*, 41(1), 51-57. doi:10.1177/0309364616631349
- Gelberman, R. H., Cohen, M. S., Desai, S. S., Griffin, P. P., Salamon, P. B., & O'Brien, T. M. (1987). Femoral anteversion. A clinical assessment of idiopathic intoeing gait in children. *J Bone Joint Surg Br*, 69(1), 75-79.
- Gentle, J., Barnett, A. L., & Wilmut, K. (2016). Adaptations to walking on an uneven terrain for individuals with and without Developmental Coordination Disorder. *Human Movement Science*, 49, 346-353. doi:10.1016/j.humov.2016.08.010
- George, D. A., & Elchert, L. (2007). The influence of foot orthoses on the function of a child with developmental delay. *Pediatr Phys Ther*, 19(4), 332-336.
doi:10.1097/PEP.0b013e31815a110f
- Goshi, F., Demura, S., Kasuga, K., Sato, S., & Minami, M. (1999). Selection of effective tests of motor ability in preschool children based on pass-or-fail criteria: examination of

- reliability, objectivity, and rate of passing. *Percept Mot Skills*, 88(1), 169-181.
doi:10.2466/pms.1999.88.1.169
- Graveson, J., Bauermeister, S., McKeown, D., & Bunce, D. (2016). Intraindividual Reaction Time Variability, Falls, and Gait in Old Age: A Systematic Review. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 71(5), 857-864.
doi:10.1093/geronb/gbv027
- Gulan, G., Matovinovic, D., Nemec, B., Rubinic, D., & Ravlic-Gulan, J. (2000). Femoral neck anteversion: values, development, measurement, common problems. *Coll Antropol*, 24(2), 521-527.
- Halpern, A. A., Tanner, J., & Rinsky, L. (1979). Does persistent fetal femoral anteversion contribute to osteoarthritis?: a preliminary report. *Clin Orthop Relat Res*(145), 213-216.
- Hausdorff, J., Nelson, M., Kaliton, D., & Layne, J. (2001). Etiology and modification of gait instability in older adults: A randomized controlled trial of exercise. *Journal of Applied Physiology*, 90(6), 2117-2129.
- Hausdorff, J. M. (2007). Gait dynamics, fractals and falls: Finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking. *Human Movement Science*, 26(4), 555-589.
doi:10.1016/j.humov.2007.05.003
- Hausdorff, J. M., Zeman, L., Peng, C.-K., & Goldberger, A. L. (1999). Maturation of gait dynamics: stride-to-stride variability and its temporal organization in children. *Journal of Applied Physiology*, 86(3), 1040-1047.
- Hillman, S. J., Stansfield, B. W., Richardson, A. M., & Robb, J. E. (2009). Development of temporal and distance parameters of gait in normal children. *Gait & Posture*, 29(1), 81-85. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.06.012>
- Ho, C.-S., Lin, C.-J., Chou, Y.-L., Su, F.-C., & Lin, S.-C. (2000). Foot progression angle and ankle joint complex in preschool children. *Clinical Biomechanics*, 15(4), 271-277.
doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0268-0033\(99\)00068-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-0033(99)00068-6)
- Holm, I., Bolstad, B., Lütken, T., Ervik, A., Røkkum, M., & Steen, H. (2000). Reliability of goniometric measurements and visual estimates of hip ROM in patients with osteoarthritis. *Physiotherapy Research International*, 5(4), 241-248.
doi:10.1002/pri.204
- Houwen, S., Hartman, E., Jonker, L., & Visscher, C. (2010). Reliability and validity of the TGMD-2 in primary-school-age children with visual impairments. *Adapt Phys Activ Q*, 27(2), 143-159.
- Hunziker, U. A., Largo, R. H., & Duc, G. (1988). Neonatal metatarsus adductus, joint mobility, axis and rotation of the lower extremity in preterm and term children 0-5 years of age. *Eur J Pediatr*, 148(1), 19-23.
- Jacquemier, M., Glard, Y., Pomeroy, V., Viehweger, E., Jouve, J.-L., & Bollini, G. (2008). Rotational profile of the lower limb in 1319 healthy children. *Gait & Posture*, 28(2), 187-193.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.11.011>
- Kadaba, M. P., Ramakrishnan, H. K., & Wootten, M. E. (1990). Measurement of lower extremity kinematics during level walking. *Journal of Orthopaedic Research*, 8(3), 383-392.
doi:10.1002/jor.1100080310
- Kimura-Ohba, S., Sawada, A., Shiotani, Y., Matsuzawa, S., Awaya, T., Ikeda, H., . . . Tomiwa, K. (2011). Variations in early gross motor milestones and in the age of walking in Japanese

- children. *Pediatrics International*, 53(6), 950-955. doi:10.1111/j.1442-200X.2011.03423.x
- Klepper, S. E. (2003). Measures of pediatric function: The Child Health Assessment Questionnaire (CHAQ), Juvenile Arthritis Functional Assessment Report (JAFAR), Juvenile Arthritis Functional Assessment Scale (JAFAS), Juvenile Arthritis Functional Status Index (JASI), and Pediatric Orthopedic Surgeons of North America (POSNA) Pediatric Musculoskeletal Functional Health Questionnaire. *Arthritis Care & Research*, 49(S5), S5-S14. doi:10.1002/art.11398
- Knittel, G., & Staheli, L. T. (1976). The effectiveness of shoe modifications for intoeing. *Orthop Clin North Am*, 7(4), 1019-1025.
- Lai, Y.-C., Lin, H.-S., Pan, H.-F., Chang, W.-N., Hsu, C.-J., & Renn, J.-H. (2014). Impact of foot progression angle on the distribution of plantar pressure in normal children. *Clinical Biomechanics*, 29(2), 196-200.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2013.11.012>
- Lee, S. H., Chung, C. Y., Park, M. S., Choi, I. H., & Cho, T. J. (2009). Tibial torsion in cerebral palsy: validity and reliability of measurement. *Clin Orthop Relat Res*, 467(8), 2098-2104. doi:10.1007/s11999-009-0705-1
- Lee, T. Q., Morris, G., & Csintalan, R. P. (2003). The influence of tibial and femoral rotation on patellofemoral contact area and pressure. *J Orthop Sports Phys Ther*, 33(11), 686-693. doi:10.2519/jospt.2003.33.11.686
- Lewinson, R. T., & Stefanyshyn, D. J. (2015). Losing control over control conditions in knee osteoarthritis orthotic research (Vol. 42, pp. 258-259).
- Li, Y. H., & Leong, J. C. (1999). Intoeing gait in children. *Hong Kong Med J*, 5(4), 360-366.
- Lincoln, T. L., & Suen, P. W. (2003). Common rotational variations in children. *J Am Acad Orthop Surg*, 11(5), 312-320.
- Looper, J., & Ulrich, D. A. (2010). Effect of Treadmill Training and Supramalleolar Orthosis Use on Motor Skill Development in Infants With Down Syndrome: A Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy*, 90(3), 382-390.
- LT., S. (1994). Rotational problems in children *Instr Course Lect*.
- LT., S. (2008). Lower limb *Fundamentals of Pediatric Orthopedics*, 4th ed(Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia), p.135.
- Maltais, D., Bar-Or, O., Galea, V., & Pierrynowski, M. (2001). Use of orthoses lowers the O(2) cost of walking in children with spastic cerebral palsy. *Med Sci Sports Exerc*, 33(2), 320-325.
- Manicolo, O., Grob, A., Lemola, S., & Arx, P. H.-v. (2016). Age-related decline of gait variability in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: Support for the maturational delay hypothesis in gait. *Gait & Posture*, 44, 245-249.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.12.012>
- Martin, H. D., Savage, A., Braly, B. A., Palmer, I. J., Beall, D. P., & Kelly, B. (2008). The function of the hip capsular ligaments: a quantitative report. *Arthroscopy*, 24(2), 188-195. doi:10.1016/j.arthro.2007.08.024
- Martin, K. (2004). Effects of supramalleolar orthoses on postural stability in children with Down syndrome. *Dev Med Child Neurol*, 46(6), 406-411.

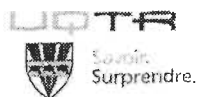
- Mazzone, L., Mugno, D., & Mazzone, D. (2004). The General Movements in children with Down syndrome. *Early Human Development*, 79(2), 119-130.
doi:10.1016/j.earlhumdev.2004.04.013
- McCormick, C. J., Bonanno, D. R., & Landorf, K. B. (2013). The effect of customised and sham foot orthoses on plantar pressures. *Journal of Foot and Ankle Research*, 6(1), 19.
doi:10.1186/1757-1146-6-19
- McCrea, J. (1985). *Pediatric orthopedics of the lower extremity*. Mount Kisco, NY: Futura.
- Milliron, M., Loesel, S., Micheli, L., & Edington, C. (1992). Comparison of Methods for Calculation of Foot Progression Angle: 1036. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(5), S173.
- Moisan, G., & Cantin, V. (2016). Effects of two types of foot orthoses on lower limb muscle activity before and after a one-month period of wear. *Gait & Posture*, 46, 75-80.
doi:10.1016/j.gaitpost.2016.02.014
- Morales, N. M. O., Funayama, C. A. R., Rangel, V. O., Frontarolli, A. C., Araújo, R. R. H., Pinto, R. M. C., . . . Silva, C. H. M. (2008). Psychometric properties of the Child Health Assessment Questionnaire (CHAQ) applied to children and adolescents with cerebral palsy. *Health and Quality of Life Outcomes*, 6, 109-109. doi:10.1186/1477-7525-6-109
- Morrison, S. C., & Ferrari, J. (2009). Inter-rater reliability of the Foot Posture Index (FPI-6) in the assessment of the paediatric foot. *J Foot Ankle Res*, 2, 26. doi:10.1186/1757-1146-2-26
- Morrison, S. C., Ferrari, J., & Smillie, S. (2012). Are spatiotemporal gait characteristics reliable outcome measures in children with developmental coordination disorder? *Pediatric physical therapy : the official publication of the Section on Pediatrics of the American Physical Therapy Association*, 24(1), 46. doi:10.1097/PEP.0b013e31823dbee
- Morrison, S. C., Ferrari, J., & Smillie, S. (2013). Assessment of gait characteristics and orthotic management in children with Developmental Coordination Disorder: Preliminary findings to inform multidisciplinary care. *Research in Developmental Disabilities*, 34(10), 3197-3201. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ridd.2013.06.012
- Müller, M., Schwachmeyer, V., Tohtz, S., Taylor, W. R., Duda, G. N., Perka, C., & Heller, M. O. (2012). The direct lateral approach: impact on gait patterns, foot progression angle and pain in comparison with a minimally invasive anterolateral approach. *Archives Of Orthopaedic And Trauma Surgery*, 132(5), 725-731. doi:10.1007/s00402-012-1467-x
- Munuera, P. C., JM ; Dominguez, G ; Lafuente, G. (2010). Orthotic Devices with Out-toeing Wedge as Treatment for In-toed Gait in Children *Journal Of The American Podiatric Medical Association*, 100(6), 472-477.
- Munuera, P. V., Castillo, J. M., Dominguez, G., & Lafuente, G. (2010). Orthotic devices with out-toeing wedge as treatment for in-toed gait in children. *J Am Podiatr Med Assoc*, 100(6), 472-478.
- Nemeth, B. (2011). The diagnosis and management of common childhood orthopedic disorders. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*, 41(1), 2-28.
doi:10.1016/j.cppeds.2010.10.004
- Newton, R. A. (1996). *Motor Control: Theory and Practical Applications* (Vol. 76, pp. 323).
- Parkes, M. J., Maricar, N., Lunt, M., & et al. (2013). Lateral wedge insoles as a conservative treatment for pain in patients with medial knee osteoarthritis: A meta-analysis. *JAMA*, 310(7), 722-730. doi:10.1001/jama.2013.243229

- Pitetti, K. H., & Wondra, V. C. (2005). Dynamic Foot Orthosis and Motor Skills of Delayed Children. *JPO: Journal of Prosthetics and Orthotics*, 17(1), 21-24.
- Pitkow, R. B. (1975). External rotation contracture of the extended hip. A common phenomenon of infancy obscuring femoral neck anteversion and the most frequent cause of out-toeing gait in children. *Clin Orthop Relat Res*(110), 139-145.
- Ponseti, I. V., Farsetti, P., Weinstein, S. L., & Ponseti, I. V. (1994). The long-term functional and radiographic outcomes of untreated and non-operatively treated metatarsus adductus. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 76(2), 257. doi:10.2106/JBJS.G.00853
- Radler, C., Kranzl, A., Manner, H. M., Höglinger, M., Ganger, R., & Grill, F. (2010). Torsional profile versus gait analysis: Consistency between the anatomic torsion and the resulting gait pattern in patients with rotational malalignment of the lower extremity. *Gait & Posture*, 32(3), 405-410. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.06.019>
- Redmond, A. C. (1998). An evaluation of the use of gait plate inlays in the short-term management of the intoeing child. *Foot Ankle Int*, 19(3), 144-148.
- Redmond, A. C. (2000). The effectiveness of gait plates in controlling in-toeing symptoms in young children. *J Am Podiatr Med Assoc*, 90(2), 70-76.
- Redmond, A. C., Crane, Y. Z., & Menz, H. B. (2008). Normative values for the Foot Posture Index. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(1), 6. doi:10.1186/1757-1146-1-6
- Redmond, A. C., Crosbie, J., & Ouvrier, R. A. (2006). Development and validation of a novel rating system for scoring standing foot posture: The Foot Posture Index. *Clinical Biomechanics*, 21(1), 89-98. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2005.08.002>
- Rethlefsen, S. A., Healy, B. S., Wren, T. A., Skaggs, D. L., & Kay, R. M. (2006). Causes of intoeing gait in children with cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am*, 88(10), 2175-2180. doi:10.2106/jbjs.e.01280
- Rigal, R. (2009). *L'éducation motrice et l'éducation psychomotrice au préscolaire et au primaire*. Québec [Que.]: Presses de l'Université du Québec.
- Rosengren, K. S., Deconinck, F. J. A., Diberardino, L. A., Polk, J. D., Spencer-Smith, J., De Clercq, D., & Lenoir, M. (2009). Differences in gait complexity and variability between children with and without Developmental Coordination Disorder. *Gait & Posture*, 29(2), 225-229. doi:10.1016/j.gaitpost.2008.08.005
- Ross, C. G., & Shore, S. (2011). The effect of gross motor therapy and orthotic intervention in children with hypotonia and flexible flatfeet. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, 23(3), 149-154. doi:10.1097/JPO.0b013e318227285e
- Ruwe, P. A., Gage, J. R., Ozonoff, M. B., & DeLuca, P. A. (1992). Clinical determination of femoral anteversion. A comparison with established techniques. *J Bone Joint Surg Am*, 74(6), 820-830.
- Sass, P., & Hassan, G. (2003). Lower extremity abnormalities in children. *Am Fam Physician*, 68(3), 461-468.
- Schuster, R. O. (1967). A device to influence the angle of gait. *J Am Podiatry Assoc*, 57(6), 269-270.
- Seber, S., Hazer, B., Kose, N., Gokturk, E., Gunal, I., & Turgut, A. (2000). Rotational profile of the lower extremity and foot progression angle: computerized tomographic examination of 50 male adults. *Arch Orthop Trauma Surg*, 120(5-6), 255-258.

- Selby-Silverstein, L., Hillstrom, H. J., & Palisano, R. J. (2001). The effect of foot orthoses on standing foot posture and gait of young children with Down syndrome. *NeuroRehabilitation*, 16(3), 183-193.
- Sinclair, J., Hobbs, S. J., Protheroe, L., Edmundson, C. J., & Greenhalgh, A. (2013). Determination of gait events using an externally mounted shank accelerometer. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(1), 118-122.
- Staheli, L. T. (1972). Tibial torsion: a method of assessment and a survey of normal children., *Clin Orthop Relat Res*.
- Staheli, L. T. (1994). Rotational problems in children. *Instr Course Lect*. (43), 199-209.
- Staheli, L. T., Corbett, M., Wyss, C., & King, H. (1985). Lower-extremity rotational problems in children. Normal values to guide management. *J Bone Joint Surg Am*, 67(1), 39-47.
- Sun, S. H., Zhu, Y. C., Shih, C. L., Lin, C. H., & Wu, S. K. (2010). Development and initial validation of the Preschooler Gross Motor Quality Scale. *Res Dev Disabil*, 31(6), 1187-1196. doi:10.1016/j.ridd.2010.08.002
- Sutherland, D. H. (2001). The evolution of clinical gait analysis part I: kinesiological EMG. *Gait Posture*, 14(1), 61-70.
- Sutherland, D. H., Olshen, R., Cooper, L., & Woo, S. L. (1980). The development of mature gait. *J Bone Joint Surg Am*, 62(3), 336-353.
- Takai, S., Sakakida, K., Yamashita, F., Suzu, F., & Izuta, F. (1985). Rotational alignment of the lower limb in osteoarthritis of the knee. *Int Orthop*, 9(3), 209-215.
- Uden, H., & Kumar, S. (2012). Non-surgical management of a pediatric "intoed" gait pattern - a systematic review of the current best evidence. *J Multidiscip Healthc*, 5, 27-35. doi:10.2147/jmdh.s28669
- Ulrich, B. D., Haehl, V., Buzzi, U. H., Kubo, M., & Holt, K. G. (2004). Modeling dynamic resource utilization in populations with unique constraints: preadolescents with and without Down syndrome. *Hum Mov Sci*, 23(2), 133-156. doi:10.1016/j.humov.2004.06.002
- Ulrich, D. A. (2000). Test of gross motor development (2nd ed.). Austin, TX: PRO-ED inc.
- Vergheze, J., Holtzer, R., Lipton, R. B., & Wang, C. (2009). Quantitative Gait Markers and Incident Fall Risk in Older Adults. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 64A(8), 896-901. doi:10.1093/gerona/glp033
- Weimer, K., Gulewitsch, M. D., Schlarb, A. A., Schwille-Kiuntke, J., Klosterhalfen, S., & Enck, P. (2013). Placebo effects in children: a review. *Pediatr Res*, 74(1), 96-102. doi:10.1038/pr.2013.66
- Weseley, M. S., Barenfeld, P. A., & Eisenstein, A. L. (1981). Thoughts on in-toeing and out-toeing: twenty years' experience with over 5000 cases and a review of the literature. *Foot Ankle*, 2(1), 49-57.
- Whalley, B., & Hyland, M. E. (2013). Placebo by proxy: the effect of parents' beliefs on therapy for children's temper tantrums. *J Behav Med*, 36(4), 341-346. doi:10.1007/s10865-012-9429-x
- Widhe, T., Aaro, S., & Elmstedt, E. (1988). Foot deformities in the newborn--incidence and prognosis. *Acta Orthop Scand*, 59(2), 176-179.
- Wrobel, J. S., Edgar, S., Cozzetto, D., Maskill, J., Peterson, P., & Najafi, B. (2010). A proof-of-concept study for measuring gait speed, steadiness, and dynamic balance under various footwear conditions outside of the gait laboratory. *Journal Of The American Podiatric Medical Association*, 100(4), 242.

Zafiropoulos, G., Prasad, K. S., Kouboura, T., & Danis, G. (2009). Flat foot and femoral anteversion in children--a prospective study. *Foot (Edinb)*, 19(1), 50-54.
doi:10.1016/j.foot.2008.09.003

Annexe



CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : Évaluation clinique de l'efficacité des traitements utilisés pour traiter la démarche des enfants atteints de rotation fémorale interne

Chercheurs : Andréanne Bouchard
Département des sciences de l'activité physique

Organismes : Aucun financement

N° DU CERTIFICAT : CER-14-199-07.18

PÉRIODE DE VALIDITÉ : Du 04 mars 2015 au 04 mars 2016

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage :

- à aviser le CER par écrit de tout changement apporté à leur protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- à procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- à aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- à faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Bruce Maxwell

Président du comité

Fanny Longpré

Secrétaire du comité

Décanat de la recherche et de la création

Date d'émission : 17 février 2015