

FACULTE DES SCIENCES DE LA MOTRICITE

**Comparaisons d'amplitudes articulaires passives des membres supérieurs
et inférieurs lors d'une séance d'hydrothérapie classique chez des enfants
paralysés cérébraux.**

Directeur de mémoire : Pr. Carpentier Alain

Unité de recherche en Biométrie et Nutrition Appliquée à l'Exercice

Promoteur : Mr Meyer Éric info@meyer-cpae.com

Service de Kinésithérapie du Centre Arnaud Fraiteur

Mémoire présenté par **Remacle Melody**
en vue de l'obtention du grade de Master en Kinésithérapie et Réadaptation

Année académique 2013-2014

Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier mon directeur de mémoire, Monsieur Alain Carpentier, pour avoir accepté la direction de ce mémoire.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon promoteur, Monsieur Eric Meyer, pour ses précieux conseils, son encadrement et son accompagnement tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je remercie sincèrement l'équipe des kinésithérapeutes du Centre Arnaud Fraiteur pour leur collaboration et leur dévouement lors des séances d'hydrothérapie qui a permis d'assurer le bon déroulement des expérimentations. Je les remercie également pour leur accueil lors de mon mois de stage.

Je remercie bien évidemment tous les enfants qui ont participé aux mesures de notre étude pour leur patience et leur bonne humeur tout au long des séances.

Je tiens à adresser mes remerciements à Monsieur Pierre Cullus pour le temps qu'il a bien voulu me consacrer à la réalisation de mes statistiques.

Enfin, je remercie chaleureusement mes parents, ma sœur, mon copain, mes proches et mes amis pour leur soutien et leur encouragement et en particulier Mathilde Schimchowitsch, ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de mon mémoire de fin d'étude.

Table des matières

Résumé.....	2
Introduction.....	3
I. Cadre théorique.....	4
I.1. La paralysie cérébrale.....	4
I.1.1. Définition.....	4
I.1.2. Epidémiologie.....	5
I.1.3. Etiologie	6
I.1.4. Formes cliniques et classifications	8
I.2. L'hydrothérapie.....	13
I.2.1. Les principes et propriétés physiques de l'eau	13
I.2.2. L'hydrothérapie et la paralysie cérébrale	16
I.2.3. La méthode classique.....	17
I.3. La goniométrie	18
I.3.1. Généralité	18
I.3.2. Les goniomètres.....	19
II. Matériel et méthode.....	20
II.1. Population	20
II.2. Matériel.....	21
II.3. Protocole expérimental	21
II.4. Test statistique	22
III. Résultats	24
III.1. Amplitudes de flexion de l'épaule.....	24
III.2. Amplitudes de flexion et d'extension du coude	25
III.3. Amplitudes de flexion palmaire et dorsale du poignet	27
III.4. Amplitudes de flexion et d'extension de la hanche	29
III.5. Amplitudes de flexion et d'extension du genou	31
III.6. Amplitudes de flexion dorsale et plantaire de la cheville.....	33
IV. Discussion.....	35
IV.1. Séance d'hydrothérapie de type classique.....	35
IV.2. Comparaison des séances d'hydrothérapie Halliwick et classique.....	41
V. Conclusion.....	44
VI. Bibliographie.....	45
VII. Annexes.....	49

Résumé

Objectifs

L'objet de l'étude consiste à analyser les amplitudes articulaires des membres supérieurs et inférieurs dans un groupe de quinze enfants paralysés cérébraux spastiques lors d'une séance d'hydrothérapie classique. Le but est d'observer si la séance d'hydrothérapie montre une variation d'amplitude.

Matériel et méthode

Nous avons utilisé un goniomètre à deux branches pour procéder aux mesures des amplitudes articulaires avant et après une séance de thérapie aquatique dans une piscine chauffée à $34^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Résultats

Les résultats statistiques ont été analysés par le test d'analyse de variance à un facteur à mesures répétées : ANOVA. Nos résultats montrent une amélioration significative essentiellement pour les amplitudes articulaires de la flexion et l'extension de la hanche ainsi que la flexion dorsale du poignet et de la cheville. Nous obtenons également une diminution significative de l'amplitude du flexum du genou.

Conclusion

Nous constatons à travers nos résultats que la thérapie aquatique classique présente un effet bénéfique en gain d'amplitude en particulier au niveau des articulations distales.

Introduction

La paralysie cérébrale (PC) est définie comme un trouble moteur, induit par des lésions au niveau du cerveau lors de son développement et présente un aspect non-évolutif. Les enfants qui font l'objet de notre étude sont caractérisés par différentes atteintes qui ont des répercussions sur leur mobilité; elles entraînent des raideurs et des mouvements limités.

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons voulu observer les effets d'une séance d'hydrothérapie de type classique sur l'amplitude de mouvement des membres supérieurs et inférieurs chez des enfants atteints de paralysie cérébrale. L'objectif de l'étude est d'analyser les amplitudes de mouvements prises avant et après la séance d'hydrothérapie afin d'objectiver un éventuel gain.

L'hydrothérapie est une méthode thérapeutique qui permet à ces enfants d'évoluer dans un milieu autre que terrestre. Les mouvements ne sont pas effectués de la même façon ce qui permet de développer et d'acquérir une autre manière de se mouvoir.

Ce mémoire fait suite à d'autres recherches effectuées dans le domaine de la thérapie aquatique dont le principal fut le travail de fin d'étude de kinésithérapie et réadaptation d'Alizée Fakhry « *Effets d'une séance d'hydrothérapie sur la spasticité chez l'enfant présentant une paralysie cérébrale. Comparaison de la technique Halliwick avec une technique classique* » en 2011. Une autre étude est également réalisée par Alexia Van Heuverswyn en complémentarité de ce mémoire : « *Analyse des amplitudes articulaires après séance de thérapie aquatique selon la méthode Halliwick* ».

I. Cadre théorique

I.1. La paralysie cérébrale

I.1.1. Définition

La paralysie cérébrale (PC) est décrite par Bax en 1964 comme un trouble du mouvement et de la posture causé par un défaut ou une lésion du cerveau immature. Elle est constituée d'un ensemble de symptômes avec différents types et degrés de troubles moteurs. Ces troubles se manifestent de façon permanente et non-progressive (Reddihough et Collins, 2003).

La paralysie cérébrale est définie par Miller et coll. (1995) comme un ensemble de troubles moteurs consécutif à un dommage au niveau du cerveau produit avant, pendant ou après la naissance. Cette lésion au cerveau affecte le système moteur et par conséquent l'enfant présente des troubles de la coordination, de l'équilibre et des mouvements anormaux. C'est un trouble statique et non évolutif du cerveau. Cela signifie que les troubles associés à la paralysie cérébrale ne sont pas temporaires. De ce fait, lorsque l'on est en présence de problèmes moteurs momentanés, appelés troubles transitoires du développement (TTD), il ne s'agit pas de la paralysie cérébrale.

La paralysie cérébrale inclut l'Infirmité Motrice Cérébrale (IMC) et l'Infirmité Motrice d'Origine Cérébrale (IMOC) (Bérard, 2010). L'IMC est liée à des atteintes cérébrales survenues dans la période anténatale ou périnatale. Elle se définit par un trouble moteur non évolutif provoquant des séquelles motrices d'intensité variable qui entraînent des troubles de la posture et du mouvement. L'IMOC, quant à elle, représente une lésion motrice associée à une diminution des capacités intellectuelles (Leroy-Malherbe, 2002).

Le terme « infirmité motrice cérébrale » a été donné par Guy Tardieu en 1952 aux sujets qui se différencient de l'ensemble des encéphalopathes par l'indépendance entre leur atteinte motrice souvent lourde et le maintien des capacités mentales et de communication (Truscelli et coll., 2006).

Actuellement, la définition acceptée est celle établie par Rosenbaum en 2007 : « La paralysie cérébrale décrit un groupe de maladies permanent du mouvement et de la posture, entraînant

des limitations d'activités, qui sont attribuées à des troubles non-progressifs qui se sont produits dans le cerveau du fœtus ou de l'enfant en développement. Les troubles moteurs de la paralysie cérébrale sont souvent accompagnés de troubles de la sensation, la perception, la cognition, la communication et le comportement, d'épilepsie et de troubles musculo-squelettiques ».

I.1.2. Épidémiologie

La paralysie cérébrale est la cause la plus fréquente de déficience physique dans l'enfance. Dans les pays développés, l'incidence varie de 2,0 à 2,5 pour mille naissances vivantes. Généralement, elle touche plus souvent les garçons que les filles (Shevell et coll., 2013). L'infirmité motrice d'origine cérébrale représente une incidence de 2,14 pour mille nouveau-nés tandis que l'infirmité motrice cérébrale indique, quant à elle, une incidence moins importante de 0,6 pour mille (Leroy-Malherbe, 2002).

Eunson (2012) constate que beaucoup d'études détaillées, où les enfants sont revus régulièrement, produisent des taux plus élevés de l'ordre de 2,7 pour mille.

Il existe différents facteurs de risque telles que l'hyperbilirubinémie, l'infection précoce du système nerveux central, l'infection fœtale ou maternelle non spécifique, le traumatisme de la naissance ou l'hémorragie intracrânienne mais environ 40% des enfants PC sont nés prématurément (Shevell et coll., 2013).

Selon Miller et coll. (1995), le type de paralysie cérébrale le plus courant a changé au fil du temps dans les pays développés. Auparavant, la paralysie cérébrale athétosique, causée par une hyperbilirubinémie et caractérisée par des mouvements involontaires et une lenteur, représentait 20% des enfants PC aux Etats-Unis. Elle ne représente aujourd'hui plus que 5 à 10% des cas. Cette diminution fait suite à des progrès dans le traitement de l'hyperbilirubinémie. Actuellement, 80% des paralysies cérébrales sont de forme spastique, caractérisées par une rigidité des muscles qui entraîne une limitation des mouvements. Ceci est dû à une augmentation du taux de survie des enfants très prématurés.

D'après Cans (2008), la prévalence de la PC, qui représente le nombre d'enfants atteints de PC dans une population définie à un moment donné, est d'environ deux pour mille enfants. Il

constate également une augmentation de l'espérance de vie de ces enfants au cours des dernières décennies.

I.1.3. Étiologie

Les différentes causes de la paralysie cérébrale sont classées selon la période à laquelle la lésion s'est produite au niveau du cerveau en développement. Les causes de la PC peuvent être pré-, péri- ou postnatales et représentent 25%, 36% et moins de 10% des cas respectivement (Bérard, 2010).

Les premiers facteurs de la PC sont la **prématurité**, le **faible poids de naissance** et le **retard de croissance intra-utérin**. La prématurité représente le facteur le plus important, de l'ordre de 45% des enfants avec PC et sa fréquence ne diminue pas, avec 6% des enfants naissant avant 37 semaines d'aménorrhée (Bérard, 2010).

	Enfants nés à terme et/ou de poids de naissance > 2500g	Enfants nés entre 32 et 36 semaines d'aménorrhée et/ou de poids de naissance entre 1500 et 2500g	Enfants nés avant 32 semaines d'aménorrhée et /ou de poids de naissance < 1500g
Prévalence PC	1 pour 1000 naissances	1 pour 100 naissances	6 pour 100 naissances

Tableau 1. Prévalence de la PC en fonction de l'âge gestationnel et du poids de naissance (Bérard, 2010).

I.1.3.1. Causes prénatales

Plusieurs auteurs tels que Stanley (1994), Reddihough et Collins (2003), Tecklin (2008), Bérard (2010) et Colver et coll. (2014) nous décrivent les différentes causes prénatales; parmi celles-ci on retrouve :

- Malformations cérébrales congénitales : les techniques d'imagerie permettent de les identifier. Les malformations congénitales sont généralement fortement associées à la PC;
- Accident vasculaire cérébral : les troubles vasculaires sont démontrés par les imageries cérébrales comme les occlusions;

- Infections maternelles : les infections telles que la rubéole, le cytomégalo virus, la toxoplasmose peuvent interférer avec le développement du système nerveux central;
- Troubles métaboliques, ingestion maternelle de toxines, syndromes génétiques sont moins fréquents.

I.1.3.2. Causes périnatales

Les causes périnatales sont reprises par différents auteurs tels que, Lyon et Evrard (2000), Leroy-Malherbe (2002), Reddihough et Collins (2003) ou encore Bérard (2010) :

- Prématurité : elle représente un risque majeur de la PC. Les lésions ischémiques se situent de façon caractéristique dans la substance blanche des hémisphères cérébraux et sont responsables de la leucomalacie péri-ventriculaire;
- Asphyxie aigue : un enroulement ou une procidence du cordon constitue un facteur de risque important de lésion cérébrale. L'anémie, l'hypoglycémie et l'oligurie sont des éléments préoccupants chez des enfants asphyxiques. Des études ont démontrés que seulement 20% des enfants PC ont présenté une asphyxie périnatale notable avant la naissance;
- Retard de croissance intra-utérin : constitue également un facteur de risque pour les enfants nés à terme ou prématurément;
- Ictère nucléaire : correspond à une augmentation du taux de bilirubine dans le sang, substance toxique pour les noyaux gris centraux;
- Souffrance néonatale : une lésion cérébrale peut provenir d'un traumatisme obstétrical (accouchement difficile), d'une hypoxie qui elle-même peut-être provoquée par une dystocie, une hémorragie intra-partum et un prolapsus du cordon.

I.1.3.3. Causes postnatales

D'après les auteurs Stanley (1994), Leroy-Malherbe (2002) et Reddihough et Collins (2003), les causes postnatales sont :

- Infection ou inflammation cérébrale : séquelles de méningite, d'encéphalopathie;
- Traumatismes accidentels : accident de la route, épisode de quasi-noyade;
- Traitement de tumeur cérébrale;
- Accident vasculaire cérébral;
- Séquelles post chirurgie.

I.1.4. Formes cliniques et classifications

I.1.4.1. Variétés topographiques

La paralysie cérébrale se distingue entre autres par sa forme topographique. Ces caractéristiques topographiques permettent d'identifier les parties du corps impliqués dans une défaillance des fonctions motrices. On décrit principalement la diplégie, l'hémiplégie et la quadriplégie.

a) La diplégie

C'est la forme la plus fréquente de la paralysie cérébrale en raison de la topographie la plus habituelle des leucomalacie périventriculaire du prématuré correspondant à la commande motrice des membres inférieurs.

La diplégie touche les quatre membres mais en particulier les membres inférieurs. Les membres supérieurs présentent, quant à eux, une limitation plus modérée et plus tardive (Amiel-Tison, 2002). L'adduction, la rotation interne, la flexion des hanches, la flexion des genoux ainsi que l'équin des pieds sont des caractéristiques d'une atteinte motrice des membres inférieurs. Les déficits moteurs sont souvent accompagnés de troubles associés tels que le strabisme, les troubles praxiques, les troubles visuels et l'épilepsie (Leroy-Malherbe, 2002).

De nombreux enfants diplégiques sont nés prématurément et ont eu des problèmes respiratoires. Pour la majorité d'entre eux, la croissance et le développement ne sont pas un problème, ils réussissent à marcher même si la marche commence plus tardivement et est qualitativement perturbée. La diplégie est généralement classée comme légère, modérée ou sévère. Selon la classification, l'enfant peut marcher avec ou sans aide (Miller et coll., 1995).

La diplégie spastique, appelée également Maladie de Little, présente une prévalence estimée à 25%. La spasticité est fortement marquée surtout lors de la mise debout, les membres se mettent en schéma d'extension avec un équin des pieds et une adduction des cuisses ce qui engendre une posture dite en « ciseaux ». Les membres supérieurs sont caractérisés par une flexion et une pronation de l'avant-bras sur le bras. La position assise stable est acquise tardivement du fait d'une grande hypotonie de l'axe corporel (Lyon et Evrard, 2000 ; Truscelli et coll., 2006).

b) L'hémiplégie

Elle atteint essentiellement le membre supérieur et inférieur du même côté. Ceci est dû à l'affaiblissement du territoire artériel de l'artère cérébrale moyenne, avec une prédominance au niveau du membre supérieur (Amiel-Tison, 2002).

Chez la plupart des enfants hémiplégiques, le bras est généralement plus touché que la jambe et les difficultés sont souvent plus graves au niveau des extrémités du membre. En effet, les mouvements de la main et du poignet sont plus difficiles que ceux de l'épaule. La mobilité du pied et de la cheville de l'enfant est également plus compliquée que celle du genou. En général, ces problèmes sont liés aux muscles spastiques qui provoquent une diminution d'amplitude des mouvements des membres touchés. L'atteinte spastique des membres se situe du même côté (Miller et coll., 1995).

L'hémiplégie cérébrale infantile congénitale désigne les hémiplégies provenant de lésions survenues avant la fin de la période néonatale. Elles représentent 30 à 40% des PC et se situent souvent à droite. Elle se manifeste généralement quatre à cinq mois après la naissance lors des premiers mouvements de préhension volontaire où l'enfant délaisse l'un de ses membres supérieurs. Or, à cet âge, l'enfant normal est ambidextre et donc toute préférence manuelle est considérée comme anormale. Tandis que l'atteinte du membre inférieur est moins évidente à cet âge et sera décelée plus tard lors de la marche qui se réalise à l'âge normal ou légèrement retardée (Lyon et Evrard, 2000 ; Truscelli et coll., 2006). Toutefois, Bobath (1986) définit une qualité de mouvement du membre inférieur déjà perturbée bien avant : lorsque l'enfant passe du décubitus ventral en décubitus dorsal et inversement.

Le terme « double hémiplégie » est utilisé pour décrire la PC lorsque les quatre membres sont affectés mais avec une asymétrie entre le côté droit et le côté gauche. Ce diagnostic signifie que les enfants ont des problèmes physiques très différents de ceux dont la PC implique un seul côté du corps (Miller et coll., 1995 ; Tecklin, 2008).

c) La quadriplégie

La quadriplégie touche l'ensemble des quatre membres de la même manière (Amiel-Tison, 2002). Elle représente la forme la plus sévère de la PC et sa fréquence est d'environ 15%. La position en extension des membres inférieurs est due à la spasticité et peut provoquer une subluxation de hanche. Les membres supérieurs sont, quant à eux, en flexion ou en extension. Les mouvements de préhension volontaire sont plus ou moins perturbés, voire impossibles de même que la marche. Elle s'accompagne généralement de différents troubles : déficit intellectuel, convulsions, atrophie optique, surdité ainsi que des complications engendrées par l'inactivité (Lyon et Evrard, 2000).

d) Le polyhandicap

« Le polyhandicap est un handicap grave, à expressions multiples, associant déficience mentale et déficience motrice sévère ou profonde, et entraînant une restriction extrême de l'autonomie et des possibilités de perception, d'expression et de relation ». Cette définition est reprise par plusieurs auteurs comme Rumeau-Rouquette et coll. (1998), Droz (2008) et Billette de Villemeura et coll. (2011).

Les principales déficiences des personnes souffrant d'un polyhandicap sont des déficits des fonctions motrices, des crises d'épilepsie, des troubles de la déglutition et du sommeil ainsi que des troubles du comportement. Les personnes polyhandicapées présentent donc des incapacités en termes de locomotion et de communication. Ces atteintes plus ou moins importantes nécessitent un accompagnement permanent dans tous les gestes de la vie quotidienne qui associe éducation, soins, communication et socialisation (Droz, 2008 ; Billette de Villemeura et coll., 2011).

Cette dépendance requiert l'attention d'une équipe pluridisciplinaire spécialisée afin d'encadrer au mieux les personnes polyhandicapées et leur offrir une meilleure qualité de vie. Ils assurent la prévention et le traitement des facteurs de sur-handicaps. Progressivement, les soins deviennent de plus en plus lourds et complexes (Le Métayer, 1999 ; Droz, 2008 ; Billette de Villemeura et coll., 2011).

I.1.4.2. Variétés symptomatiques

Les différentes formes symptomatiques sont basées sur la nature du tonus musculaire, elles sont répertoriées et classées dans le tableau ci-dessous.

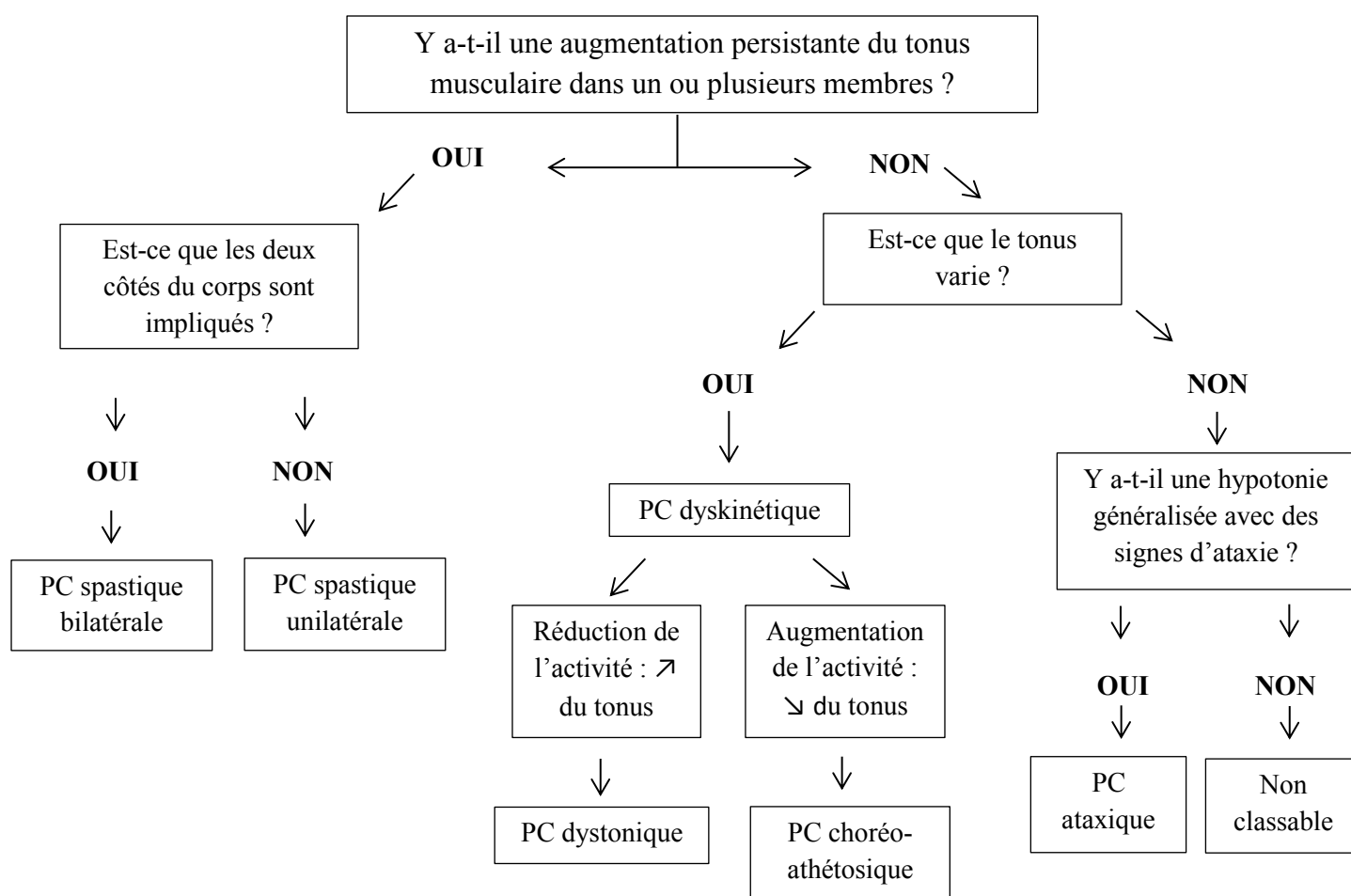


Tableau 2. Classification des sous-types de paralysie cérébrale (SCPE, 2000).

a) Forme spastique

Selon Bérard (2010), la forme spastique représente la grande majorité des paralysies cérébrales, soit environ 85%. L'atteinte de la substance blanche ou du cortex entraîne une symptomatologie dite pyramidale qui se caractérise par une spasticité, une limitation de l'étirement, du réflexe ostéo-tendineux vif et de co-contractions. L'augmentation des contractions musculaires perturbe les postures et les mouvements. Elle peut être uni-ou bilatérales (Amiel-Tison, 2002 ; Bérard, 2010).

b) Forme dyskinétique

Cette forme est caractérisée, d'après Bérard (2010), par des mouvements involontaires, incontrôlés, récurrents et parfois stéréotypés accompagnée d'une tonicité musculaire inconstante. Elle regroupe les formes dystoniques et choréo-athétosiques. Les mouvements dyskinétiques n'apparaissent que vers l'âge d'un an, après une période d'hypotonie constatent les auteurs Lyon et Evrard (2000) et Leroy-Malherbe (2002).

Le trouble du tonus est une rigidité qui persiste et ne change pas lors des mouvements lents et répétés de flexion et d'extension des membres. Ce syndrome est d'origine extrapyramidale. Les mouvements anormaux perturbent la motricité volontaire qui se trouve très diminuée décrit Amiel-Tison (2002).

La forme dyskinétique est caractérisée par des mouvements lents et forcés des membres supérieurs et également des mouvements de flexion-extension ou d'enroulement. Il existe également des troubles du langage causés par des contractions anormales des muscles phonatoires. Généralement, l'incapacité motrice est majeure. La position assise est acquise tardivement et la marche reste très difficile pour les enfants atteints de cette forme de PC (Lyon et Evrard, 2000 ; Leroy-Malherbe, 2002). Le tonus des membres dépend de la position de la tête à cause du réflexe tendineux asymétrique du cou qui est très puissant (Amiel-Tison, 2002).

Ses deux sous-types se distinguent comme suit : la dystonie constitue d'importants spasmes et attitudes anormales impliquant l'axe corporel. La PC dystonique est dominée par une hypokinésie et une hypertonie. La choréo-athétose présente des lents mouvements d'athétose qui sont accompagnés de brusques secousses des membres. La PC choréo-athétosique est dominée par une hyperkinésie et une hypotonie (Lyon et Evrard, 2000 ; SCPE, 2000).

c) Forme ataxique

C'est une forme plus rare, souvent liée à un syndrome cérébelleux (Amiel-Tison, 2002). Elle représente environ 5% des cas et est caractérisée par des mouvements non-coordonnés lents et saccadés. L'ataxie peut apparaître dans la démarche titubante ou la parole. Il arrive qu'elle soit provoquée lors de l'exécution de tâches motrices complexes comme des mouvements rapides et alternés de la main ou la marche en tandem. Pour certains enfants, il y a une hypotonie globale associée (Florin et coll., 2011).

I.2. L'hydrothérapie

I.2.1. Les principes et propriétés physiques de l'eau

Il est important de comprendre les différents principes hydrodynamiques et hydrostatiques afin d'en tenir compte lors de l'élaboration d'un traitement thérapeutique aquatique. Les propriétés fondamentales de l'eau engendrent certaines modifications physiologiques dont il faut connaître les conséquences.

I.2.1.1. Flottabilité

Le principe qui établit qu'un objet, partiellement ou entièrement immergé dans un fluide, subit une force ou une poussée dirigée vers le haut égale au poids du fluide déplacé, est appelé le principe d'Archimède (Kane et Sternheim, 2004).

Ainsi le point par lequel agit la force de flottabilité est appelé le centre de flottabilité. La force de flottabilité agit dans la direction opposée à celle de la force de gravité. Par conséquent, un corps dans l'eau est soumis à deux forces opposées : la gravité et la flottabilité. L'équilibre est établi lorsque le centre de flottabilité et le centre de gravité sont dans un alignement vertical (Bates et Hanson, 1996).

La flottabilité est une propriété de l'eau qui peut présenter une grande utilité thérapeutique. En effet, le corps est lentement immergé dans l'eau et la force de flottabilité entre en jeu. Les articulations immergées sont donc progressivement déchargées (Becker, 2009).

I.2.1.2. Viscosité

La viscosité se définit par les forces de frottement qui se produisent entre les molécules d'un fluide provoquant une résistance à l'écoulement de ce fluide. La viscosité d'un liquide diminue, généralement, lorsque la température augmente (Kemoun et coll., 2006).

Les fluides sont, entre autres, définis en fonction de leur coefficient de viscosité. Ceci signifie que plus le coefficient est élevé, plus le fluide est visqueux et plus la force à développer pour

créer un mouvement est importante. Cette force est proportionnelle au nombre de molécules de fluide mis en mouvement et à la vitesse de leur déplacement (Becker et Cole, 1997).

« Les mouvements sont souvent décrits en termes de déplacement de fluide autour de l'objet plutôt que l'objet se déplaçant à travers le fluide » expliquent Bates et Hanson (1996).

Lors de l'écoulement laminaire, le mouvement du fluide est régulier et continu. Il existe peu de frottements entre les couches du fluide; elles se séparent pour se déplacer autour de l'objet et se rejoignent derrière. Par contre, au cours de l'écoulement turbulent, le mouvement est irrégulier ce qui provoque une augmentation du frottement entre les molécules du fluide. Les couches se rejoignent à l'arrière de l'objet sous forme de tourbillons. De toute évidence, la résistance de l'écoulement turbulent est supérieure à la résistance de l'écoulement laminaire (Bates et Hanson, 1996).

I.2.1.3. Résistance des fluides

La résistance des fluides résulte des forces opposées au déplacement du corps immergé. La résistance au mouvement due aux frottements entre les molécules du liquide est nommée la viscosité, comme vu précédemment. Cette force de résistance est appelé la « trainée ». Mais il existe d'autres forces mises en jeu dans ce milieu. La cohésion est une force d'attraction entre les molécules de même matière. L'adhérence est, quant à elle, une force d'attraction entre les molécules voisines de substances différentes. Et la tension superficielle représente la force d'attraction entre les molécules de surface d'un fluide (Kemoun et coll., 2006 ; Bates et Hanson, 1996).

« Plus la surface opposée au déplacement est grande, plus la résistance est forte [...] Plus le mouvement est rapide, plus la résistance au mouvement augmente » selon Kemoun et coll. (2006).

I.2.1.4. Pression hydrostatique

« La pression est définie comme étant la force par unité de surface, où la force, F , agit perpendiculairement à la surface, A » selon Becker et Cole (1997).

La pression exercée par un liquide sur un corps immergé équivaut au poids de la colonne de liquide située au-dessus de ce corps. Par conséquent, la pression hydrostatique est directement proportionnelle à la profondeur de l'eau et à la densité du fluide. La pression du liquide augmente avec la profondeur (Kemoun et coll., 2006).

La loi de Pascal, reprise par Bates et Hanson (1996), énonce que la pression d'un fluide s'exerce sur toutes les surfaces d'un corps immergé à une profondeur donnée.

I.2.1.5. Tension de surface

La tension de surface est définie comme étant la force par unité de longueur qui agit à travers une surface (Kane et Sternheim, 2004). « La surface d'un liquide agit comme une membrane sous tension » (Becker et Cole, 1996). Cette tension s'explique par la résultante des forces de cohésion entre les molécules du liquide (Kemoun et coll., 2006).

I.2.1.6. Effets de l'eau chaude

Selon Bates et Hanson (1996), les exercices effectués en eau chaude sont une méthode de traitement efficace dans de nombreuses conditions. Toutes modifications de la température de l'eau peuvent produire des changements importants dans le système circulatoire. Le sang est redistribué dans tout le corps. Cette redistribution entraîne une augmentation du retour veineux, base de tous changements physiologiques liés à l'immersion. Les effets physiologiques subis par le patient immergé dans l'eau chaude dépendent de la position du patient.

En ce qui concerne les effets thérapeutiques, les propriétés physiques et la chaleur de l'eau jouent un rôle important dans l'amélioration ou le maintien de l'amplitude articulaire. La chaleur de l'eau réduit le tonus musculaire anormal, la spasticité et favorise ainsi la relaxation. Les effets de la gravité sont également diminués dans l'eau. Au plus le corps est immergé, au moins les forces de compression agissent sur le corps. Le mouvement est d'autant plus facile et moins douloureux (Bates et Hanson, 1996).

Becker (2009), quant à lui, affirme que : « L'utilité thérapeutique de l'eau dépend en grande partie à la fois de sa capacité à conserver la chaleur et de sa capacité à transférer de l'énergie thermique ».

I.2.2. L'hydrothérapie et la paralysie cérébrale

La pratique de l'hydrothérapie a été étudiée à partir des bases scientifiques des forces hydrodynamiques comme vu précédemment. La compréhension des propriétés physiques de l'eau et de la physiologie de l'immersion humaine ainsi que les capacités d'analyse du mouvement ont contribué à utiliser l'hydrothérapie comme un outil permettant de faciliter le mouvement et la réadaptation de la fonction motrice (Geytenbeek, 2002).

Les enfants atteints de paralysies cérébrales présentent une fonction motrice altérée. Par conséquent, les activités de la vie quotidienne sont réduites de même que les activités physiques (Hutzler et coll., 1998). L'exercice est, en général, de plus en plus considéré comme une thérapie d'intervention chez les enfants PC afin d'améliorer la force musculaire, la capacité aérobie et la fonction motrice (Kelly et Darrah, 2005). Les programmes d'exercices sont destinés à stabiliser le tonus musculaire, conserver l'amplitude de mouvement et accroître le développement moteur (Hutzler et coll., 1998).

Les exercices aquatiques adaptés aux enfants paralysés cérébraux sont donc recommandés dans le cadre d'un programme d'activités physiques. L'eau est un environnement favorable pour ces enfants en raison de leurs problèmes de mobilité importants induits par des troubles de l'équilibre, un mauvais contrôle postural et des surcharges articulaires. Les propriétés dynamiques de l'eau permettent de réduire toutes ces influences négatives et offrent la possibilité aux enfants PC de sentir leur corps sans les contraintes rencontrées sur terre. L'exercice aquatique peut être particulièrement bénéfique pour les enfants présentant des limitations de mouvements importantes pour lesquelles l'activité physique sur terre peut être difficile. Les effets de la gravité sont réduits dans l'eau, de ce fait, l'activité physique aquatique préserve davantage l'intégrité des articulations que l'activité terrestre, surtout pour les enfants avec des articulations instables qui subissent des charges prolongées et anormales (Kelly et Darrah, 2005 ; Gorter et coll., 2011).

Les caractéristiques avantageuses d'un programme d'activités aquatiques pour les enfants PC sont reprises par Hutzler et coll. (1998) et comprennent la flottabilité de l'eau qui permet l'initiation du mouvement, la force de trainée qui produit une résistance progressive pendant les séries de mouvements, le transfert de chaleur plus grand dans l'eau que dans l'air qui diminue la spasticité et les autres mouvements involontaires et enfin, la pression hydrostatique qui fournit une stimulation des extérocepteurs et propriocepteurs.

Certaines de ces caractéristiques sont également citées par Kelly et Darrah (2005) : « L'exercice aquatique est une forme attrayante de l'exercice pour les enfants atteints de paralysie cérébrale. La flottabilité de l'eau diminue l'influence de la gravité et fournit un soutien postural accru. Ces caractéristiques peuvent permettre aux enfants atteints de paralysie cérébrale de s'exercer dans l'eau avec plus de liberté que sur terre. Les forces de résistance de la flottabilité et la traînée visqueuse permettent une variété d'activités aérobies et de renforcement qui peuvent être facilement modifiées pour tenir compte des différentes capacités motrices des enfants atteints de paralysie cérébrale ».

Selon Becker, l'activité aquatique offre un soulagement de la douleur et des spasmes musculaires, un maintien ou une augmentation de l'amplitude du mouvement, un contrôle de la force ou de la faiblesse musculaire, une amélioration de la circulation et de la fonction pulmonaire ainsi qu'une aide dans le maintien et l'amélioration de l'équilibre, de la coordination et de la posture (Dimitrijevic et coll., 2012).

Becker et Cole (1997) soutiennent que la réhabilitation aquatique a été préconisée par beaucoup comme une méthode de traitement utile pour les patients atteints de troubles neurologiques tel que la paralysie cérébrale. « Les propriétés uniques de l'eau, en particulier la flottabilité et la turbulence, permettent la conception de programmes de traitement efficaces et polyvalents. Les avantages spécifiques de l'environnement aquatique comprennent le soulagement du poids et la facilité de mouvement [...] En outre, les propriétés favorables de l'eau permettent une manipulation facile des patients par les professionnels de la thérapie aquatiques ».

L'activité aquatique n'a pas seulement un effet thérapeutique sur les enfants PC, décrit Getz, mais également un effet psycho-social (Dimitrijevic et coll., 2012).

I.2.3. La méthode classique

La méthode classique telle que nous l'envisageons est basée sur un apprentissage à la nage. Les enfants sont accompagnés par leurs thérapeutes et réalisent plusieurs mouvements dans l'eau, fondés sur les techniques de mouvements de la natation.

La méthode classique, contrairement à d'autres méthodes aquatiques plus spécifiques, ne tient pas compte des mouvements de rotation du corps. Les thérapeutes exercent un soutien constant de l'enfant, part un maintien du corps mais également de la tête. Ce soutien de tête ne

permet pas à l'enfant de la contrôler activement ce qui l'empêche d'avoir une respiration et un maintien de tête spontané.

Les enfants sont amenés à nager sur le dos et le ventre, en y associant des battements de jambes ainsi que des mouvements de bras. Ils effectuent également des exercices en position verticale. Ce type d'exercices permet aux enfants d'acquérir ou de développer de nouvelles capacités telle que la coordination des mouvements. Les mouvements réalisés dans l'eau permettent aux enfants PC de se mouvoir de façon différente que sur la terre. En effet, certains exercices effectués dans l'eau sont moins évident pour eux à réaliser sur terre.

Les enfants apprennent à tenir en équilibre et à flotter dans l'eau, parfois même avec des moyens de flottaison et toujours avec un appui du thérapeute pour sécuriser l'enfant. Ces exercices leur permettent d'apprendre à contrôler leur posture.

I.3. La goniométrie

I.3.1. Généralité

Lors de la prise en charge d'un patient, un examen clinique est effectué. Ce bilan clinique comprend l'évaluation fonctionnelle et analytique du patient.

L'évaluation fonctionnelle consiste en l'analyse des grandes fonctions du patient et donne des renseignements sur son autonomie au quotidien. L'évaluation analytique est à la fois active et passive. Elle est passive lorsque les muscles du patient sont relâchés. Cet état permet la mobilisation pour faire une évaluation articulaire. Lors de l'évaluation active qui intervient ensuite, le sujet contracte ses muscles et on en étudie le résultat. Pour ces deux types d'évaluation on distingue un aspect qualitatif et quantitatif (Delbarre Grossemy, 2008).

Dans le cadre d'une évaluation quantitative et s'agissant d'une articulation, on cherche à chiffrer l'examen pour exprimer l'effet organique sur la fonction. Pour cela, on cote le déplacement des segments en degrés d'angle. Pour objectiver le chiffrage des amplitudes de mouvements, on utilise selon un protocole connu différents instruments comme le goniomètre, l'inclinomètre et ou le mètre ruban (Delbarre Grossemy, 2008).

« La mesure des amplitudes peut donc se définir comme étant une évaluation analytique objective et quantitative d'une articulation, d'un muscle ou d'un groupe musculaire, qui

participe à l'élaboration du diagnostic de l'état clinique du patient » (Delbarre Grossemy, 2008).

I.3.2. Les goniomètres

Le goniomètre est un instrument de mesure qui permet d'analyser l'angle de l'articulation. La méthode de mesure du goniomètre utilise la méthode du zéro neutre qui représente la position de départ du mouvement. De plus, la palpation des repères anatomiques est une étape importante pour assurer la fiabilité des mesures. Il existe différents types de goniomètres.

I.3.2.1. Les goniomètres à deux branches

Ils possèdent un cadran gradué en degrés auquel sont fixées deux branches, l'une fixe et l'autre mobile. Ils s'appliquent dans tous les plans du corps et s'utilisent dans différentes positions.

Le goniomètre de Houdre à grandes branches est utilisé pour les articulations à grand bras de levier. Le goniomètre de Labrique présente des branches plus petites avec une aiguille qui donne référence à la verticale. Le goniomètre de type Cochin est petit et léger mais il ne permet pas d'obtenir des mesures fiables du fait de la largeur de ces branches. Enfin, le goniomètre de Balthazar possède de toutes petites branches et est destiné spécifiquement aux mesures des articulations de la main et des orteils (Royer et coll., 2004 ; Delbarre Grossemy, 2008).

I.3.2.2. Les goniomètres à index soumis à la pesanteur

Ce type de goniomètre existe sous deux formes. Le goniomètre à branche doté d'une petite aiguille au niveau du cadran, le goniomètre de Labrique. Il existe également le plurimètre de Rippstein, regroupé sous le terme d'inclinomètres. Ils comprennent un cadran mobile fixé à un support. L'avantage de ce type d'instrument est de pouvoir le placer sur un segment mobile et non au niveau du centre articulaire de rotation. L'inconvénient est la position verticale à maintenir lors de la prise de mesure au risque de fausser les mesures, de ce fait, certaines positions sont impossibles (Royer et coll., 2004 ; Delbarre Grossemy, 2008).

II. Matériel et méthode

II.1. Population

Notre étude est réalisée sur quinze enfants atteints de paralysie cérébrale spastique, âgés de quatre à quatorze ans. Cette population, cinq garçons et dix filles, fréquentent tous le Centre Arnaud Fraiteur. Pour être inclus dans l'étude, ces enfants ne doivent pas présenter de contre-indication à l'hydrothérapie. Leurs caractéristiques sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Sujets	Age [ans]	Sexe	Atteinte	Côté pathologique	GMFCS ¹	Déplacement
1	14	Féminin	Quadriplégie spastique	Droit	IV	Chaise électronique
2	8	Féminin	Diplégie spastique	Gauche	III	Marche cadre
3	8	Masculin	Hémiplégie spastique	Gauche	II	Marche
4	11	Féminin	Quadriplégie spastique	Gauche	IV	Chaise électronique
5	10	Féminin	Diplégie spastique	Gauche	III	Marche canne
6	13	Féminin	Diplégie ataxique	Gauche	III	Marche
7	4	Masculin	Hémiplégie spastique	Droit	II	Marche
8	9	Féminin	Quadriplégie athétosique	Droit	IV	Chaise électronique
9	6	Féminin	Quadriplégie spastique	Gauche	IV	Chaise électronique
10	11	Masculin	Diplégie spastique	Gauche	III	Marche canne
11	8	Féminin	Diplégie ataxique	Droit	IV	Marche cadre corset
12	12	Masculin	Quadriplégie polyhandicap	Gauche	V	Chaise manuelle non autonome
13	11	Féminin	Quadriplégie spastique	Droit	IV	Chaise électronique
14	8	Féminin	Quadriplégie spastique	Gauche	IV	Chaise électronique
15	6	Masculin	Diplégie spastique	Gauche	III	Marche cadre

Tableau 3. Caractéristiques des quinze enfants PC.

¹ Le système de classification de la fonction motrice (GMFCS) est un outil d'évaluation des capacités de mouvement de l'enfant PC. Il se présente sous la forme de cinq niveaux différents qui permettent de classer l'enfant selon ses performances. Le niveau I comprend les enfants avec peu ou pas de handicap par rapport à la mobilité tandis que le niveau V inclut les enfants qui sont totalement dépendants (Gunel et coll., 2009).

II.2. Matériel

- Un goniomètre à deux branches;
- Un tapis airex;
- Une piscine chauffée à $34^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ avec une température ambiante de 24°C .

II.3. Protocole expérimental

Arrivés en piscine privée, chaque enfant est mis en maillot de bain et ensuite placé sur un tapis airex en décubitus dorsal. Nous sommes deux expérimentateurs et entreprenons les mesures goniométriques de la manière suivante : l'un positionne l'enfant en évitant les multiples réactions associées ou autres compensations et l'autre effectue les mesures avec le goniomètre.

Nous commençons les mesures du membre supérieur de distal à proximal et le membre inférieur de proximal à distal. Les mesures sont prises sur les trois principales articulations du membre supérieur (épaule, coude, poignet) et du membre inférieur (hanche, genou, cheville) du côté le plus pathologique.

Les amplitudes mesurées sont la flexion et l'extension des différentes articulations sauf le mouvement d'extension de l'épaule, position trop compliquée à obtenir chez l'enfant PC et qui en fin de compte n'apporterait aucun intérêt pratique. Notons que l'extension de hanche est la dernière mesure prise, l'enfant étant placé alors en décubitus ventral.

Une fois les mesures prises, l'enfant suit sa thérapie aquatique selon les modalités suivantes : un maintien de la tête quasi permanent, l'absence d'exercice de rotation du corps et des exercices de bras et de jambes réalisés de façon non standardisés, libres, spontanés, en position verticale, sur le dos et sur le ventre.

Immédiatement après la séance de thérapie aquatique, l'enfant est remis sur le tapis airex et les mesures goniométriques sont reprises suivant les mêmes modalités expliquées ci-dessus. Lorsque les mesures sont terminées, nous retournons au centre pour effectuer une troisième mesure (l'enfant est resté habillé légèrement) dans le but d'observer les résultats obtenus après un laps de temps.

Nous avons effectué les mesures sans connaître la méthode de thérapie aquatique utilisée pour n'être aucunement influencé. En effet, une autre méthode de thérapie aquatique était appliquée simultanément avec la méthode classique. La séance de thérapie se déroule sur une durée de vingt à trente minutes.

Dans le cadre de notre étude, un re-test n'a pas pu être réalisé cependant la reproductibilité des mesures goniométriques a pu être évaluée avant la deuxième « séance » de thérapie aquatique.

II.4. Test statistique

L'analyse statistique des mesures réalisées sur les enfants paralysés cérébraux, au sein de cette étude, a pour but d'évaluer la significativité statistique de ces différentes données. Cette analyse statistique a été traitée à l'aide du logiciel SPSS (22.0). L'expérimentation a été menée sur quinze enfants néanmoins l'analyse statistique a été effectuée sur quatorze enfants car l'un d'entre eux n'a pu être évalué lors du retour au centre.

Nous avons utilisé l'analyse de variance à un facteur à mesures répétées appelé ANOVA afin d'interpréter nos variables. Les variables sont toutes appariées et nos sujets proviennent tous du même échantillon. Ce test permet également de traiter plusieurs variables ensemble. Il est donc approprié dans le cadre de notre étude. L'hypothèse nulle est représentée par le fait qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes.

Nous avons également procédé à un test non paramétrique, le test de Kolmogorov-Smirnov, afin de vérifier si le test ANOVA répond bien à la normalité. Dans notre cas, ce test n'a pas conduit à un rejet de la normalité.

Lors de l'analyse de nos variables par l'intermédiaire du test de variance, ANOVA, nous devons tenir compte du test de sphéricité de Mauchly. Si celui-ci est non significatif donc supérieur à 5%, nous examinons l'Hypothèse de sphéricité dans le tableau d'analyse de variance « Tests des effets intra-sujets ». Par contre si le test de Mauchly est significatif, avec un degré de signification inférieur à 5%, nous allons considérer le test de Huynh-Feldt dans le même tableau de l'analyse de variance.

Le tableau « Tests des effets intra-sujets », nous donne l'analyse statistique globale pour les trois variables (« avant », « après » et « retour au centre ») et le tableau « Comparaisons appariées », nous permet d'obtenir les taux statistiques entre les trois variables.

Le degré de signification ou la p-valeur d'un test :

Degré de signification	Qualitatif	Abréviation
$p \geq 0,05$	Non significatif	NS
$0,01 \leq p < 0,05$	Significatif	S
$0,001 \leq p < 0,01$	Hautement significatif	HS
$p < 0,001$	Très hautement significatif	THS

III. Résultats

III.1. Amplitudes de flexion de l'épaule

III.1.1. Flexion de l'épaule

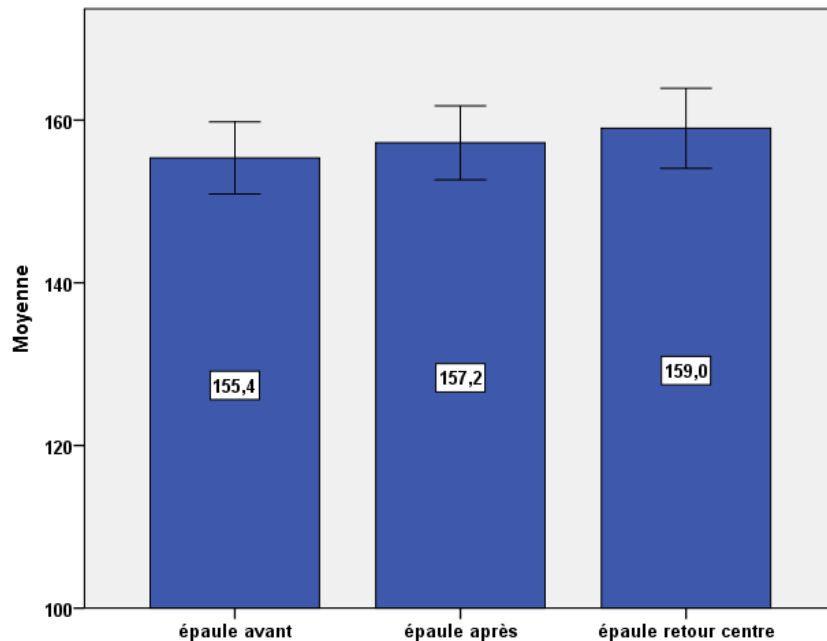


Figure 1. Comparaisons des amplitudes de flexion de l'épaule.

Nous pouvons observer sur le graphique une augmentation de la moyenne des amplitudes entre les mesures prises avant, après et au retour au centre qui s'élève de façon régulière de 155,4 à 159,0. L'analyse de variance des mesures répétées (ANOVA) par l'intermédiaire du test de sphéricité de Mauchly donne un taux significatif de 0,799. Le test de Mauchly étant supérieur à 0,05, nous allons nous intéresser à l'hypothèse de sphéricité qui équivaut à 0,073. Cela signifie que le test est non significatif, l'hypothèse nulle n'est pas rejetée. Le test de statistique ne reflète donc pas l'observation faite des moyennes du graphique. De plus, les trois variables entre elles sont également non significatives.

III.2. Amplitudes de flexion et d'extension du coude

III.2.1. Flexion du coude

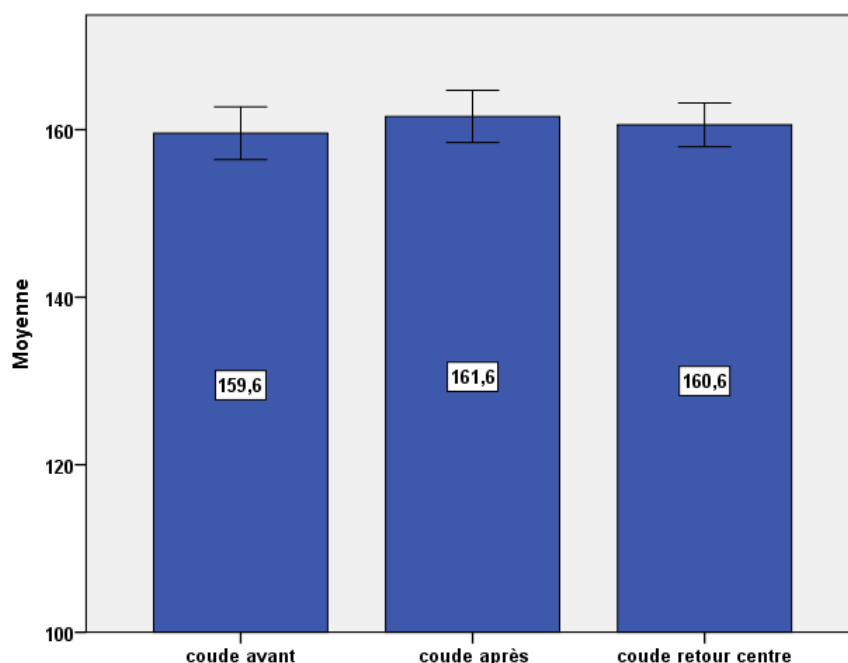


Figure 2. Comparaisons des amplitudes de flexion du coude.

Sur ce graphique, nous constatons que la moyenne des mesures des amplitudes articulaires avant et après la séance a légèrement augmenté. Par contre, la moyenne calculée lors du retour au centre a diminué par rapport à celle obtenue après la séance mais reste supérieure aux mesures prises avant la séance. Lors de l'analyse de variance (ANOVA) le taux de significativité du test de sphéricité de Mauchly est de 0,664. Il est dès lors plus grand que 0,05, l'hypothèse de sphéricité est de 0,064. Ceci démontre que l'ensemble des variables est non significatif. Néanmoins, nous observons entre les données prises avant et après la séance un taux significatif de 0,041 dans le tableau des comparaisons appariées. Les autres mesures sont, quant à elles, non significatives.

III.2.2. Extension du coude

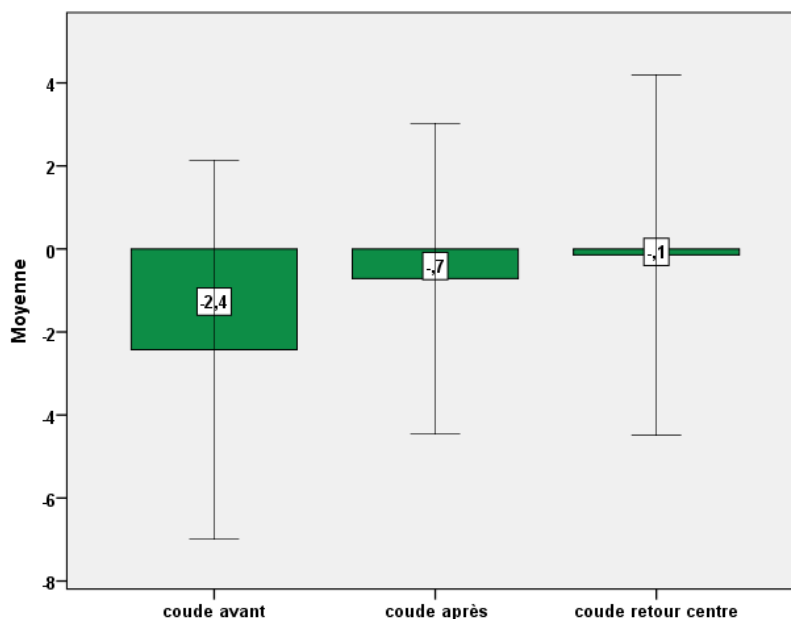


Figure 3. Comparaisons des amplitudes d'extension du coude.

Le test d'analyse de variance (ANOVA) pour les amplitudes d'extension du coude présente un test de sphéricité de Mauchly égale à 0,163. Ce qui équivaut à un taux non significatif. Nous utilisons ainsi l'hypothèse de sphéricité qui nous donne un degré de significativité de 0,053, le test s'avère donc non significatif. Lorsque nous regardons le tableau des comparaisons appariées les trois variables entre elles sont également non significatives. Il faut tenir compte dans ce graphique que l'extension du coude n'est pas toujours obtenu car certains enfants présentent un flexum important. Celui-ci est repris dans les mesures et exprimé négativement par rapport aux valeurs d'extension. Sur les quatorze enfants PC, cinq présentaient un flexum.

III.3. Amplitudes de flexion palmaire et dorsale du poignet

III.3.1. Flexion palmaire du poignet

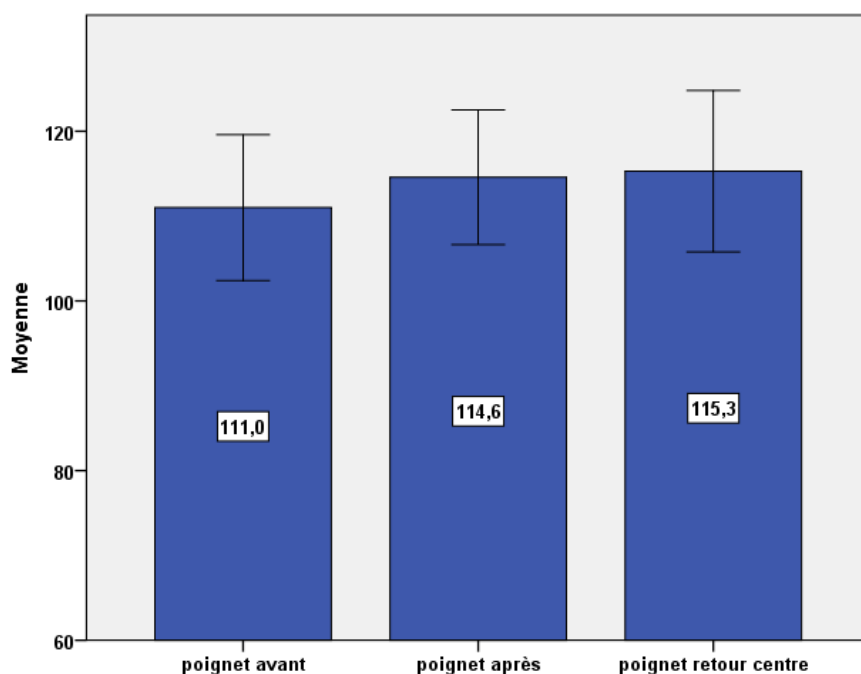


Figure 3. Comparaisons des amplitudes de flexion palmaire du poignet.

Le graphique représentant les amplitudes de flexion palmaire du poignet montre une légère augmentation des moyennes, de 111,0° à 115,3°. Le test statistique des mesures répétées (ANOVA) rapporte un taux de significativité de 0,412 (test de sphéricité de Mauchly). Nous utilisons l'hypothèse de sphéricité étant donné que le test de sphéricité de Mauchly n'est pas significatif. L'hypothèse de sphéricité vaut 0,131. Le test est donc non significatif et l'hypothèse nulle n'est pas rejetée. Les trois variables présentent également un taux non significatif dans le tableau des comparaisons appariées.

III.3.2. Flexion dorsale du poignet

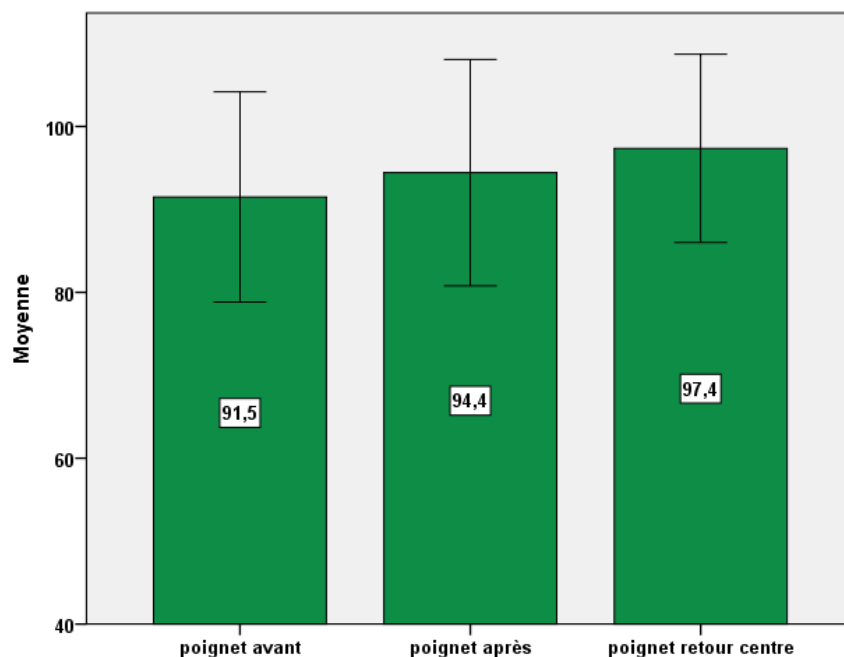


Figure 4. Comparaisons des amplitudes de flexion dorsale du poignet.

Nous observons sur ce graphique une augmentation de la moyenne entre les différentes prises de mesures de l'ordre de 3,9° en moyenne. Le test statistique de sphéricité de Mauchly tend légèrement vers la significativité avec 0,046, nous prenons donc le test de Huynh-Feldt qui donne un taux de 0,010. La p-valeur étant située entre 0,01 et 0,05 cela signifie que le test est significatif. De plus, nous constatons dans le tableau des comparaisons appariées que les variables « avant-après » et « avant-retour au centre » sont significatifs avec 0,037 et 0,015 respectivement. Tandis que les mesures prises « après-retour au centre » ne sont pas significatives avec 0,470.

III.4. Amplitudes de flexion et d'extension de la hanche

III.4.1. Flexion de la hanche

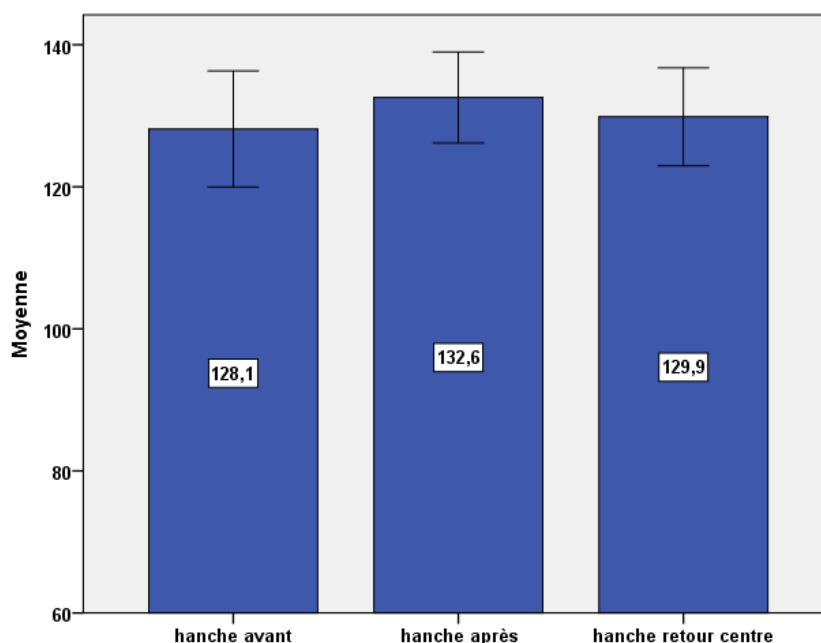


Figure 5. Comparaison des amplitudes de flexion de la hanche.

Nous pouvons constater sur ce graphique une différence de moyenne entre les trois variables. La moyenne des mesures après la séance est supérieure ($132,6^\circ$) par rapport aux deux autres moyennes ($128,1^\circ$ et $129,9^\circ$). La différence de moyenne entre les données prises avant et au retour au centre est infime. L'analyse statistique par le test de sphéricité de Mauchly montre un taux de significativité de 0,778, il est donc non significatif. L'hypothèse de sphéricité est donc requis et donne un taux de 0,01, cela représente un taux significatif. Le degré de significativité est situé entre 0,01 et 0,05 donc l'hypothèse nulle est rejetée. Dans le tableau des comparaisons appariées, les mesures « avant-après » sont significatives avec 0,019. Par contre, les autres variables entre elles sont non significatives et représente respectivement 0,541 et 0,250.

III.4.2. Extension de la hanche

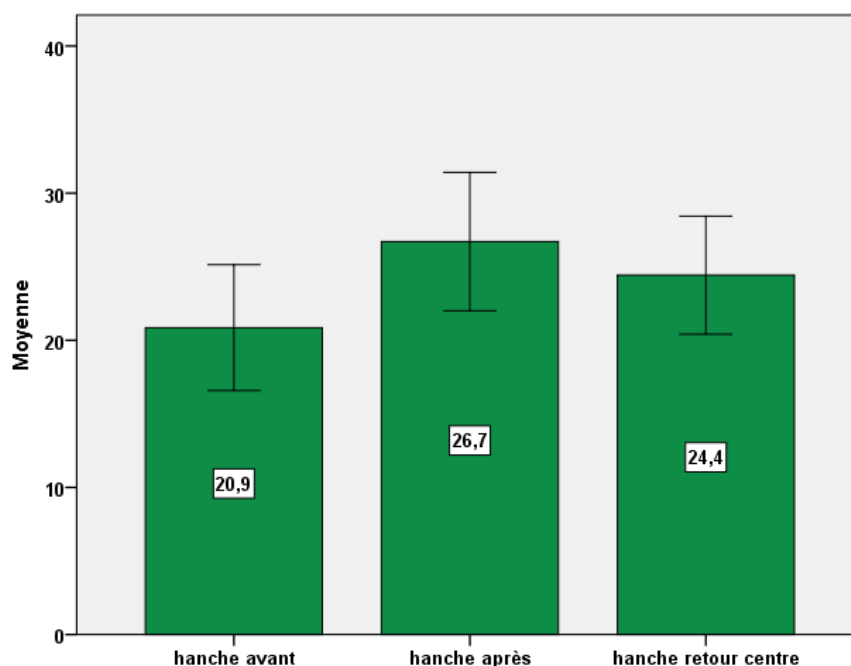


Figure 6. Comparaisons des amplitudes d'extension de la hanche.

Le graphique des amplitudes d'extension de la hanche présente une configuration identique à celui des amplitudes de flexion de la hanche. En effet, nous remarquons à nouveau une moyenne supérieure pour les mesures prises après séance avec $26,7^\circ$ par rapport aux mesures prises avant avec $20,9^\circ$ et les mesures prises au retour au centre avec $24,4^\circ$. Dans ce cas, l'analyse des statistiques réalisée avec l'analyse de variance (ANOVA) révèle un taux de 0,442 (test de sphéricité de Mauchly). Ce test n'est pas significatif, nous empruntons alors l'hypothèse de sphéricité qui équivaut à 0,000. Ceci représente un degré très hautement significatif. La comparaison entre les différentes variables montre un taux hautement significatif pour les mesures prises « avant-après » et « avant-retour au centre » avec respectivement 0,001 et 0,006. Contrairement aux mesures « après-retour au centre » qui sont non significatives avec 0,290.

III.5. Amplitudes de flexion et d'extension du genou

III.5.1. Flexion du genou

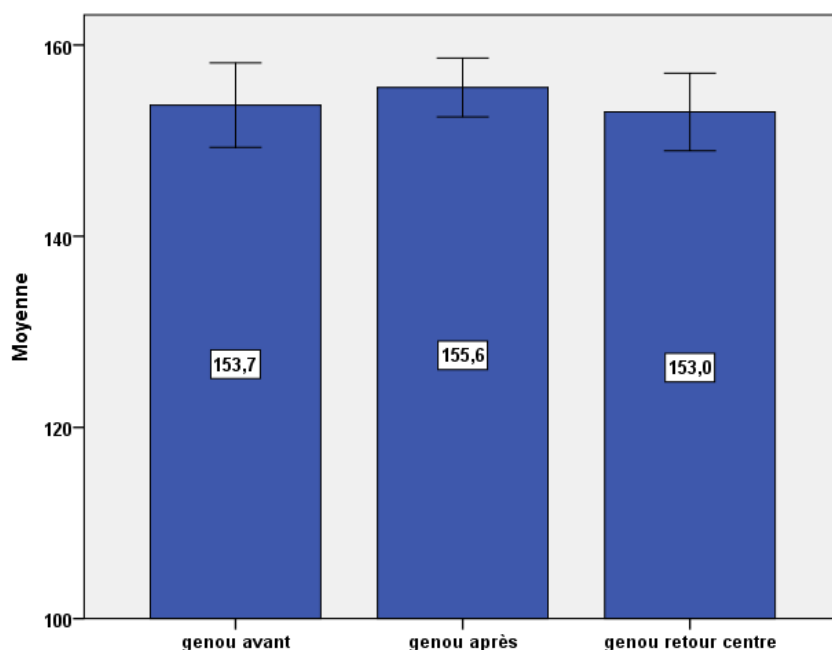


Figure 7. Comparaisons des amplitudes de flexion du genou.

Nous constatons en observant ce graphique que les trois moyennes sont proches les unes des autres avec une différence d'environ 1,7°. L'analyse statistique par le test de sphéricité de Mauchly nous donne un degré de significativité de 0,995 soit un test non significatif. Nous prenons en compte l'hypothèse de sphéricité qui nous donne un taux de significativité de 0,028. Le degré de significativité étant situé entre 0,01 et 0,05, il est donc significatif. Le tableau des comparaisons appariées montre un degré de significativité de 0,045 pour les mesures prises après et au retour au centre. Par contre, les autres mesures « avant-après » et « avant-retour au centre » présentent des taux de 0,207 et 1,000 et sont donc non significatives.

III.5.2. Extension du genou

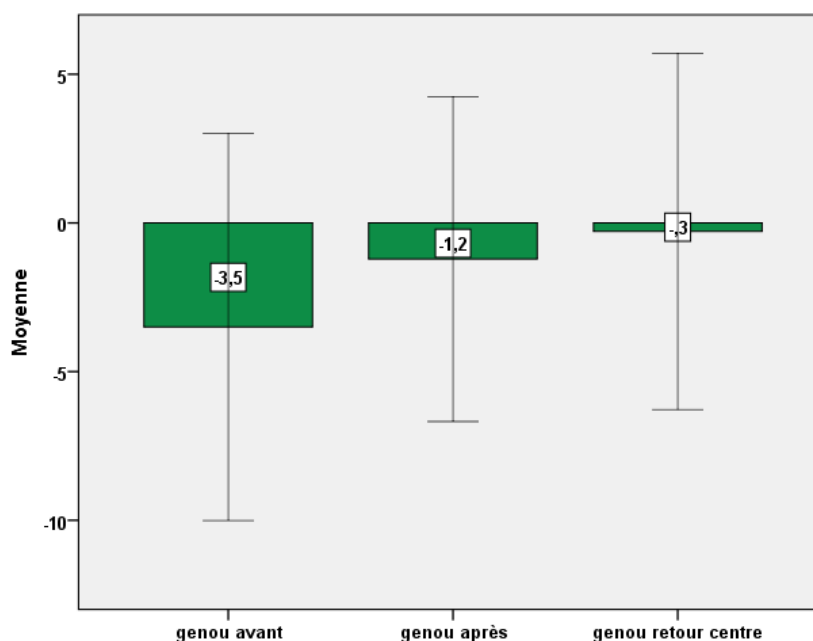


Figure 8. Comparaisons des amplitudes d'extension du genou.

Le graphique des amplitudes d'extension du genou présente des valeurs négatives étant donné que certains enfants ne pouvaient pas atteindre l'extension à cause de leur flexum. Ce dernier a été pris en compte dans les mesures et est représenté de façon négative. Il y avait sept enfants PC sur quatorze qui présentaient un flexum du genou. Le test statistique de l'analyse de variance par le test de sphéricité de Mauchly donne un taux de significativité de 0,527. Comme il n'est pas significatif, nous utilisons l'hypothèse de sphéricité avec un taux de signification de 0,006. L'hypothèse de sphéricité présente un résultat hautement significatif. Toutefois, nous constatons dans le tableau des comparaisons appariées que seules les variables « avant-retour au centre » sont significatives avec 0,028. Les deux autres variables obtiennent un degré de significativité de 0,088 (avant-après) et 0,791 (après-retour au centre), elles sont donc non significatives.

III.6. Amplitudes de flexion dorsale et plantaire de la cheville

III.6.1. Flexion dorsale de la cheville

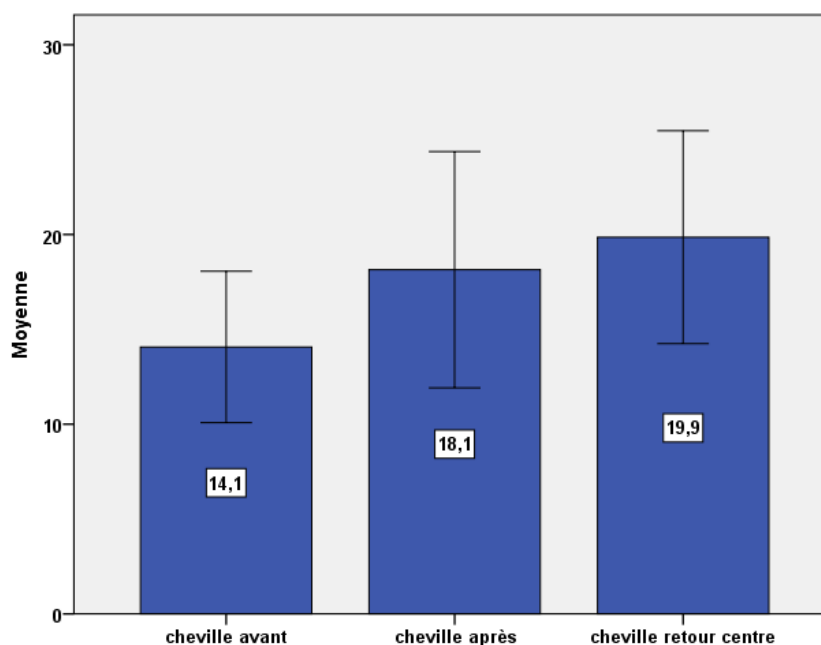


Figure 9. Comparaisons des amplitudes de flexion dorsale de la cheville.

Nous observons une élévation de la moyenne entre les mesures prises avant, après et retour au centre. Le test de sphéricité de Mauchly lors de l'analyse statistique donne un taux de 0,159. Celui-ci est donc non significatif. L'hypothèse de sphéricité donne donc un taux de significativité de 0,008 ce qui représente un degré hautement significatif car la p-valeur se situe entre 0,001 et 0,01. L'hypothèse nulle est donc rejetée. Dans le tableau des comparaisons appariées, nous constatons principalement une signification entre les variables « avant-retour au centre » de 0,025. Les données « avant-après » ont un taux de signification de 0,198 et les mesures « après-retour au centre » présentent un taux de 0,564. Elles sont donc toutes les deux non significatives.

III.6.2. Flexion plantaire de la cheville

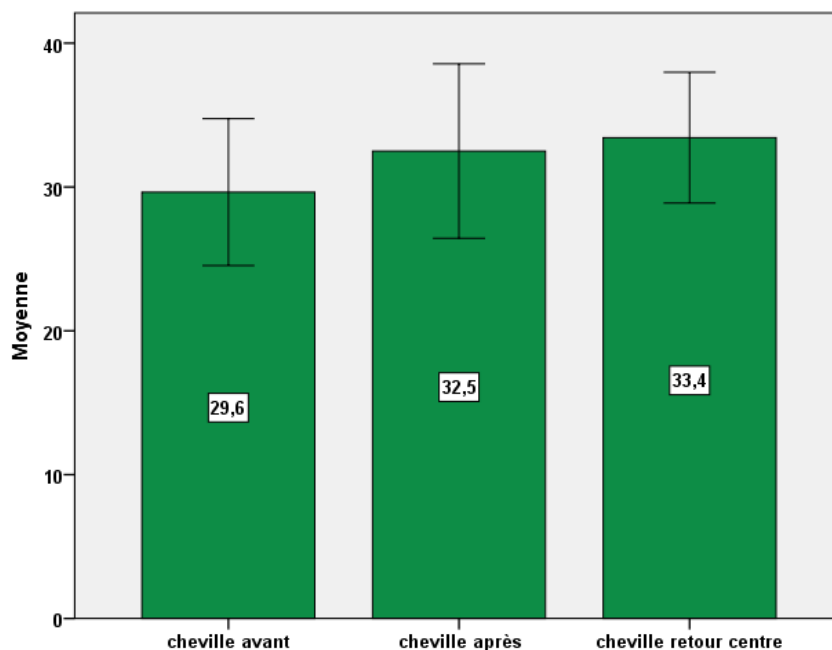


Figure 10. Comparaisons des amplitudes de flexion plantaire de la cheville.

Sur le graphique de la flexion plantaire de la cheville, la moyenne n'augmente que très légèrement entre les différentes mesures réalisées sur les enfants PC. Le test d'analyse de variance (ANOVA), présente un taux de significativité de 0,442 pour le test de sphéricité de Mauchly. Nous prenons donc en compte l'hypothèse de sphéricité, celui-ci donne un degré de significativité de 0,212. Les mesures recueillies sont non significatives. De même pour la comparaison appariée des trois variables entre elles. Les valeurs correspondantes sont de l'ordre de 0,839 (avant-après), 0,224 (avant-retour au centre) et 1,000 (après-retour au centre).

IV. Discussion

IV.1. Séance d'hydrothérapie classique

Chez les enfants paralysés cérébraux, il s'avère utile de tenir un bilan clinique regroupant les données personnelles relevées au fil du temps afin d'observer leur évolution. Les données recueillies permettent ensuite de constater soit une stabilisation, soit une amélioration ou encore une aggravation de leur état.

Le bilan clinique prend en compte différents examens dont le bilan articulaire qui permet, à l'aide d'un instrument d'analyse comme le goniomètre, d'obtenir l'amplitude de mouvement de l'enfant infirme moteur cérébral (Viehweger et coll. 2007).

La reproductibilité du bilan articulaire reste médiocre malgré l'utilisation de techniques standardisées (Viehweger et coll. 2007). Plusieurs études se sont intéressées à la variabilité des mesures d'amplitudes de mouvement chez ces enfants.

Mc Dowell et coll. (2000) ont étudié la variabilité des mesures goniométriques chez les enfants paralysés cérébraux spastiques. Ils ont constaté des variations de mesure d'environ 10° à 14° pour l'angle pied-cuisse, l'abduction et la rotation interne de la hanche aussi bien lorsque les mesures ont été menées le même jour qu'à des jours différents. La dorsiflexion de la cheville et de l'angle poplité présentent des variations de mesures similaires lorsqu'elles sont prises le même jour. Par contre, ces deux mesures d'amplitudes articulaires réalisées à des jours différents montrent des erreurs de mesure de l'ordre de 18°-28°.

Fosang et coll. (2003) ont, quant à eux, évalué trois examens cliniques différents sur le membre inférieur dont les mesures d'amplitudes des mouvements passifs chez des enfants paralysés cérébraux présentant différents niveaux de gravité de la fonction motrice. Ils confirment des erreurs de mesures articulaires de 6° à 18° pour le même observateur et des variations de 10° à 15° pour des observateurs différents.

Néanmoins, l'utilisation de l'examen articulaire conserve toute sa valeur informative. Il permet d'apprécier à la fois l'amplitude du mouvement articulaire mais également la force et la spasticité de l'enfant paralysé cérébral. De plus, il permet de comparer l'état articulaire de l'enfant aux valeurs normales ainsi qu'à lui-même (Viehweger et coll. 2007).

Les résultats ultérieurs obtenus lors de l'évaluation goniométrique permettent de programmer les traitements de réadaptation pour ces enfants mais également certaines procédures médicales comme les appareillages, les infiltrations et les chirurgies orthopédiques (Herrero et coll., 2011).

La prise de mesures goniométriques des amplitudes de mouvement est une méthode couramment utilisée par les physiothérapeutes et les médecins pour évaluer le raccourcissement des muscles ainsi que les raideurs articulaires chez les enfants atteints de paralysie cérébrale. Ces deux éléments sont fréquemment rencontrés chez ces enfants. La diminution de l'amplitude de mouvement est l'un des facteurs qui participe à la détérioration des aptitudes fonctionnelles telles que la marche, la position debout et assise (Mc Dowell et coll., 2000 ; Nordmark et coll., 2009 ; Herrero et coll., 2011).

Dans le cadre de notre étude, nous avons voulu évaluer les amplitudes articulaires lors d'une séance d'hydrothérapie. Ces mesures d'amplitudes articulaires chez les enfants paralysés cérébraux peuvent servir d'indicateur dans l'évolution du traitement de la thérapie aquatique comme lors d'un traitement classique de kinésithérapie.

Après l'analyse statistique de l'amplitude de mouvement de chacune des articulations, nous portons tout d'abord notre attention sur le membre supérieur lors des mouvements de flexion et d'extension mise à part le mouvement d'extension de l'épaule pour des raisons de postures non réalisables par certains enfants.

Nous obtenons des résultats non significatifs pour l'amplitude de flexion de l'épaule, de la flexion palmaire du poignet et de l'amplitude d'extension du coude. Néanmoins, pour les amplitudes de mouvement de flexion de l'articulation du coude, nous notons que bien qu'elles soient également non significatives dans l'ensemble, il en ressort une légère amélioration entre les mesures prises « avant » et « après » la séance d'hydrothérapie. Nous pouvons supposer que la séance a eu un effet bénéfique immédiat sur l'amplitude de mouvement mais que ce gain n'a pu être maintenu jusqu'au retour au centre. Nous présumons que le trajet de la piscine jusqu'au centre a pu avoir une influence sur l'amplitude articulaire. Nous pouvons penser que les enfants ont repris leurs mauvaises postures ce qui a pu engendrer des raideurs musculaires et ainsi, diminuer l'amplitude de mouvement pour cette articulation.

Nous retenons enfin une amélioration significative globale pour les amplitudes de la flexion dorsale de l'articulation du poignet. Les amplitudes articulaires sont significatives pour les mesures prises « avant » et « après » mais également « avant » et « retour au centre ». Nous constatons au travers de ces résultats que la thérapie aquatique a été bénéfique pour ces enfants vu que les données sont significatives « après » et au « retour au centre ».

Nous émettons l'hypothèse que, comme la méthode classique n'utilise pas le travail de la rotation, elle fixe davantage les articulations proximales entraînant des amplitudes de mouvements plus limités et elle permet ainsi plus de mouvements au niveau distal.

Nous avons également étudié dans notre projet, les mouvements de flexion et d'extension du membre inférieur chez les enfants paralysés cérébraux.

Nous constatons pour l'articulation de la hanche, un taux statistiquement significatif pour la flexion et très hautement significatif pour l'extension globalement. Tout d'abord, nous retenons une amélioration de la flexion avant et après la séance d'hydrothérapie ce qui nous laisse penser que celle-ci a eu un effet sur l'amplitude de mouvement de l'enfant paralysé cérébral. Cependant les paramètres « avant-retour au centre » et « après-retour au centre » entre eux ne présentent pas d'amélioration statistiquement significative ce qui signifie que l'effet de la séance ne se maintient pas jusqu'au retour au centre comme vu précédemment sur l'articulation du coude. Nous en venons à envisager l'hypothèse d'un effet à court terme des propriétés de l'eau chaude sur les raideurs musculaires. Les enfants sont plus détendus ce qui influe sur l'amplitude de mouvement.

Cependant, peu de recherches dans la littérature ont été réalisées sur les effets de l'hydrothérapie, malgré les avantages théoriques de l'exercice aquatique pour les enfants PC. Seulement quelques études sur les exercices aquatiques impliquant les enfants PC ont présenté des effets positifs montrant des améliorations de la flexibilité, de la fonction respiratoire, de la force musculaire, de la marche et de la fonction motrice selon Kelly et Darrah en 2005.

Parmi ces études, nous retrouvons Hutzler et coll. (1998) qui ont réalisé une étude sur les effets des mouvements et programmes de natation sur les fonctions respiratoires et les compétences d'orientation dans l'eau chez les enfants atteints de paralysie cérébrale.

Ils démontrent un effet bénéfique du programme d'exercice aquatique sur la fonction motrice ainsi qu'une amélioration de la fonction respiratoire chez ces enfants.

Fragala-Pinkham et coll. (2008) ont, quant à eux, mené une étude sur l'efficacité et la sécurité d'un programme d'exercices aquatiques aérobies sur l'endurance cardio-respiratoire chez les enfants présentant des handicaps dont les enfants paralysés cérébraux durant quatorze semaines. Ils constatent une amélioration de l'endurance cardio-respiratoire grâce à ce programme d'exercices aérobies. Les exercices aquatiques peuvent être une alternative à des programmes d'exercices terrestres pour améliorer l'endurance cardio-respiratoire tout en étant bénéfiques et sûrs pour des enfants atteints d'un handicap.

Ballaz et coll. en 2010 évaluent également les effets et la faisabilité d'un programme d'entraînement aquatique de groupe pendant dix semaines sur l'efficacité de la démarche chez les adolescents atteints de paralysie cérébrale. Ils démontrent une augmentation de l'efficacité de la démarche chez les adolescents présentant différent type de gravité de PC. Ce programme aurait donc un impact significatif sur l'autonomie et la qualité de vie de ces enfants en leur permettant d'augmenter leur distance de marche avec moins de fatigue.

Gorter et Currie en 2011 proposent une étude reprenant les dernières publications depuis 2005 sur les exercices aquatiques chez les enfants et les adolescents paralysés cérébraux. Ils retiennent six études dont les deux citées ci-dessus et constatent peu de changement dans la littérature depuis 2005.

Nous pouvons donc affirmer que les exercices réalisés en thérapie aquatique ont un impact bénéfique pour les enfants paralysés cérébraux. Toutefois, nous n'avons pas trouvé dans la littérature des études précises sur les mesures goniométriques et l'hydrothérapie. En effet, notre étude porte sur un sujet assez spécifique. Cependant, les exercices aquatiques présentent des effets favorables en ce qui concerne la mobilité des enfants PC et donc sur les amplitudes de mouvements.

Nous nous concentrons à présent sur le mouvement d'extension de la hanche où nous constatons une nette amélioration entre les variables « avant-après » et « avant-retour au centre ». Malgré que les mesures « après-retour au centre » ne soient pas significatives, les amplitudes articulaires prises au retour au centre sont toutefois supérieures aux amplitudes prises avant la séance d'hydrothérapie. Nous pensons donc que l'effet de la séance, dans ce

cas, est ressenti jusqu'au retour au centre par rapport aux données recueillies avant la séance d'hydrothérapie. Nous pouvons ainsi envisager un effet positif de la séance sans que cet effet ne soit apparent entre les deux dernières mesures.

L'articulation du genou est un peu plus particulière. En effet, nous notons une amélioration significative de l'extension dans l'ensemble ainsi qu'entre les mesures prises « avant-retour au centre ». Cependant les valeurs obtenues restent négatives. C'est sans doute dû au flexum rencontré lors des prises de mesures chez les enfants infirmes moteurs. Le résultat final nous évoque plutôt une tendance à l'extension sans que toutefois celle-ci ne soit atteinte au final. Nous pouvons donc interpréter ces résultats comme une diminution de l'amplitude du flexum du genou et non comme une amélioration de l'extension à proprement parler.

Quant à l'amplitude de flexion du genou, nous observons une amélioration globale de l'amplitude. Nous constatons un taux significatif entre les valeurs « après-retour au centre » mais celles-ci tendent plutôt vers une dégradation et non une amélioration. Il faut donc rester prudent sur la signification de l'ensemble des résultats obtenus pour cette articulation. Nous pouvons supposer que les enfants reprennent leurs mauvaises postures au niveau du genou spontanément car la thérapie classique est une méthode moins dirigée qui permet aux enfants de se mouvoir plus librement.

Dans le cas de l'articulation de la cheville, nous avons une amélioration globale de la flexion dorsale ainsi que des paramètres « avant » et « retour au centre ». Nous supposons, comme les valeurs « avant-après » ne sont pas significatives, que les enfants ont pu prendre froid lors de la sortie de l'eau ce qui a pu engendrer des crispations et des tremblements occasionnant des postures anormales. Les enfants étaient donc moins relâchés lors de la réalisation des mesures et ont pu présenter une diminution de leur amplitude articulaire. Certains enfants avaient encore froid malgré qu'ils soient séchés et revêtu d'une partie de leur vêtement afin de garder libres les articulations à mesurer. Une amélioration de l'amplitude en flexion dorsale permettrait éventuellement de diminuer l'amplitude en flexion plantaire et ainsi de diminuer l'équin souvent présent chez les enfants PC. En outre, les amplitudes de la flexion plantaire de la cheville sont non significatives.

Nous retenons surtout notre attention sur l'articulation de la hanche qui présente une amélioration que ce soit pour le mouvement de flexion ou d'extension. Ceci peut-être dû au

fait que l'articulation de la hanche ait été plus sollicitée pendant les exercices effectués dans l'eau au détriment des autres articulations.

Pour l'ensemble de nos mesures, il nous semble essentiel de tenir compte de tous ces différents facteurs qui ont pu avoir une influence sur les résultats. D'autres éléments peuvent également être pris en compte; nous pensons que la petite taille de l'échantillon (n=14) ne permet pas de démontrer réellement des taux plus significatifs. De plus, il est possible que les séances d'hydrothérapie n'aient pas été assez longues. Ensuite, nous avons évalué l'effet immédiat d'une séance unique et non sur plusieurs séances ce qui n'est peut-être pas suffisant pour obtenir de meilleurs résultats. Nous avons également un temps limité pour prendre les mesures. Enfin, le comportement des enfants a pu interférer lors des séances d'hydrothérapie. Par exemple, si les enfants étaient parfois trop excités cela a pu provoquer des gestes brusques, non contrôlés entraînant eux-mêmes des contractions musculaires. Parfois les enfants étaient également moins compliant lors de la prise de mesure.

Nous tenons à préciser que deux expérimentateurs ont procédé à la prise des mesures articulaires à l'aide d'un goniomètre à deux branches afin de s'assurer d'une bonne position de l'enfant et permettre une évaluation plus aisée des amplitudes articulaires.

En ce qui concerne l'élaboration de nos expérimentations, nous avons porté une attention toute particulière lors de la réalisation des amplitudes maximales à effectuer des mouvements passifs et lents pour ne pas provoquer la spasticité. Nous avons également veillé au positionnement du goniomètre selon les repères osseux définis de la même manière chez tous les enfants. Nous nous sommes assurés du confort des enfants ainsi lors de la prise de mesure l'amplitude de mouvement était arrêté dès la première douleur.

Cependant, nous précisons les facteurs suivants du contexte dans lequel les prises de mesures ont été effectuées. Tout d'abord, les expérimentateurs n'avaient pas un usage courant de l'utilisation du goniomètre. Quelques séances ont été nécessaires pour se familiariser avec l'outil et prendre des repères. Notons aussi que le local où s'effectuaient les mesures du retour au centre n'était pas le même avec sans doute des différences de température avec le local de piscine.

Cette étude de terrain est une première approche dans le domaine de la thérapie aquatique à propos des amplitudes de mouvements articulaires lors d'une séance d'hydrothérapie de type classique chez des enfants atteints de paralysie cérébrale. Ces premières observations peuvent

être intéressantes dans l'analyse de l'évolution du traitement aquatique. De futures recherches sur le sujet pourront être appliquées à une population plus large pour donner peut-être des résultats plus probants.

IV.2. Comparaison des séances d'hydrothérapie Halliwick et classique

Nous nous penchons à présent sur la comparaison des amplitudes articulaires passives de la méthode classique avec les amplitudes articulaires obtenues lors de la séance d'hydrothérapie spécifique Halliwick, menée conjointement au cours d'une autre recherche dans le domaine de la thérapie aquatique.

Nous avons au préalable réalisé un test de corrélation afin d'observer la reproductibilité entre les mesures prises avant les séances d'hydrothérapie classique et Halliwick. Nous observons une reproductibilité pour la plupart de nos résultats dans le tableau des corrélations des échantillons appariés (cfr. Annexes). Nous constatons que les mouvements de flexion des membres supérieurs ne sont pas reproductibles contrairement à ceux des membres inférieurs. Pour les mouvements d'extension des membres supérieurs et inférieurs, les mesures sont toutes reproductibles mis à part pour l'articulation de la cheville.

Comme vu précédemment dans la littérature, la reproductibilité des mesures goniométriques reste faible. Néanmoins, nous devons tenir compte des différents facteurs environnementaux qui peuvent provoquer des variations d'amplitudes. En effet, les enfants ne pratiquent pas tous les mêmes activités avant la séance de thérapie aquatique ce qui peut entraîner des changements d'amplitudes articulaires. De plus, nous arrêtons la prise des mesures dès les premières douleurs qui peuvent s'avérer différentes d'un jour à l'autre. Enfin, il s'est écoulé une ou deux semaines entre les séances de thérapie aquatique.

La méthode Halliwick est basée sur l'apprentissage des mouvements et la maîtrise de l'équilibre du corps dans l'eau de façon autonome. Elle est utilisée, entre autres, dans le cadre de la rééducation des enfants atteints d'handicaps physiques. Elle est fondée sur dix points prenant en compte le contrôle des mouvements de rotation dans les différents plans et le contrôle de la respiration. Le maintien de la tête est proscrit et aucun moyen de flottaison n'est utilisé dans cette méthode (Lambeck et Gamper, 2010). L'étude menée sur cette technique ne prend en compte que les cinq premiers points de la thérapie Halliwick.

Nous constatons lors de la comparaison des deux méthodes pour le membre supérieur, une différence notable dans nos résultats au niveau des amplitudes articulaires. En effet, nous remarquons que les résultats obtenus sont généralement inversés.

La méthode Halliwick montre surtout une amélioration pour les articulations proximales (épaule et coude) tandis que la méthode classique présente une amélioration significative de la flexion dorsale du poignet soit une amélioration plus distale du membre supérieur.

Nous pouvons supposer que les prises de mains différentes dans les deux méthodes influent de manière importante sur le membre supérieur. En effet, la méthode Halliwick se base beaucoup sur les mouvements de rotation au niveau du tronc, de ce fait, les articulations proximales sont plus en mouvement. La méthode classique, quant à elle, ne tient pas compte des mouvements de rotation et permet un maintien de la tête. Les enfants sont donc plus fixés au niveau proximal et réalisent des mouvements plus distaux.

Nous observons pour le membre inférieur une nette amélioration des amplitudes articulaires pour la méthode classique, moins frappante pour la méthode Halliwick. Nous pensons que lors de la méthode classique, les enfants sont plus libres dans leurs mouvements ce qui leur permet des déplacements plus importants du membre inférieur. Nous obtenons des résultats significatifs aussi bien proximaux que distaux pour les deux méthodes.

Les divers résultats ne permettent pas de démontrer la supériorité d'une méthode par rapport à l'autre. Cependant nous constatons un changement d'amplitudes au niveau du membre supérieur plus conséquent avec la méthode Halliwick. Cette méthode bien qu'elle soit réalisée de manière globale, agit plus spécifiquement par rapport aux articulations que la méthode classique. Elle est donc plus ciblée que la méthode classique et permettrait d'aider les kinésithérapeutes à élaborer un travail plus spécifique dans leur thérapie.

Articulations	Mouvements	Méthode CLASSIQUE		Méthode HALLIWICK	
		Tests des effets intra-sujets	Comparaisons appariées	Tests des effets intra-sujets	Comparaisons appariées
Epaule	Flexion	NS	NS	S	NS
	Extension	-	-	-	-
Coude	Flexion	NS	1-2 S	S	NS
	Extension	NS	NS	THS	1-2 HS + 1-3 HS
Poignet	Flexion dorsale	S	1-2 S + 1-3 S	NS	NS
	Flexion palmaire	NS	NS	NS	1-2 HS
Hanche	Flexion	S	1-2 S	NS	1-2 S
	Extension	THS	1-2 HS + 1-3 HS	S	1-2 S
Genou	Flexion	S	2-3 S	NS	1-2 S
	Extension	HS	1-3 S	NS	NS
Cheville	Flexion dorsale	HS	1-3 S	NS	NS
	Flexion plantaire	NS	NS	S	NS

Tableau 4. Comparaisons des résultats statistiques entre les deux méthodes classique et Halliwick.

Légende : Temps 1 = Avant ; Temps 2 = Après ; Temps 3 = Retour au centre.

V. Conclusion

L'analyse des amplitudes de mouvements grâce à l'utilisation d'un goniomètre, peut présenter des variations de mesures. Toutefois, cette technique permet de récolter des informations sur l'évolution de l'état moteur de l'enfant paralysé cérébral et garde toute son importance.

Plusieurs études ont démontré les effets bénéfiques de la thérapie aquatique sur les compétences motrices de ces enfants. Cette thérapie influe sur leur mobilité et par conséquent sur l'amplitude de mouvement. L'eau se révèle être un outil thérapeutique intéressant pour les enfants paralysés cérébraux.

Nous retenons en particulier, après la thérapie aquatique classique, une amélioration significative pour les amplitudes de flexion et d'extension de la hanche ainsi que la flexion dorsale du poignet et de la cheville. Nous observons également une diminution du flexum du genou. Nous avons donc constaté que la séance d'hydrothérapie de type classique a permis aux enfants PC d'obtenir un gain d'amplitude, plus présent au niveau distal.

Lors de la comparaison des deux méthodes de thérapie, nous retenons surtout une amélioration des amplitudes proximales en ce qui concerne la méthode spécifique Halliwick. Nous ne pouvons certifier qu'une méthode est supérieure à l'autre pour les résultats obtenus. Néanmoins, la méthode Halliwick semble être une thérapie aquatique plus spécifique et plus ciblée que la méthode classique.

VI. Bibliographie

- Amiel-Tison, C., *Neurologie périnatale*, 2 éd., Masson, Paris, 2002.
- Ballaz, L., Plamondon, S., Lemay, M., *Group aquatic training improves gait efficiency in adolescents with cerebral palsy*, Disability and Rehabilitation, 33: 1616-1624, 2011.
- Bates, A., Hanson, N., *Aquatic exercise therapy*, Saunders Company, USA, 1996.
- Becker, B., Cole, A., *Comprehensive aquatic therapy*, Butterworth-Heinemann, USA, 1997.
- Becker, B., *Aquatic Therapy: Scientific foundations and clinical rehabilitation applications*, The American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation, 1: 859-872, 2009.
- Bérard, C., *La paralysie cérébrale de l'enfant. Guide de consultation. Examen neuro-orthopédique du tronc et des membres inférieurs*, 2 éd., Sauramps médical, France, 2010.
- Billette de Villemeur, T., Mathieu, S., Tallot, M., Grimont, E., Brisse, C., *Le parcours de santé de l'enfant polyhandicapé*, Archives de Pédiatrie, 19: 105-108, 2012.
- Bobath, K., Bobath, B., *Développement de la motricité des enfants IMC*, Masson, Paris, 1986.
- Cans, C., De-la-Cruz, J., Mermet, M.-A., *Epidemiology of cerebral palsy*, Paediatrics and Child Health, 18: 393-398, 2008.
- Colver, A., Charles, F., Pharoah, P., *Cerebral palsy*, The Lancet, 383: 1240-1249, 2014.
- Delbarre Grossemy, I., *Goniométrie. Manuel d'évaluation des amplitudes articulaires des membres et du rachis*, Masson, France, 2008.
- Dimitrijevic, L., Aleksandrovic, M., Madic, D., Okicic, T., Radovanovic, D., Daly, D., *The effect of aquatic intervention on the Gross Motor Function and aquatic skills in children with cerebral palsy*, Journal of human kinetics, 32: 167-174, 2012.

- Droz, D., *Infirmité motrice cérébrale, polyhandicap et santé buccale*, Archives de Pédiatrie, 15: 849-851, 2008.
- Eunson, P., *Aetiology and epidemiology of cerebral palsy*, Paediatrics and Child Health, 22: 361-366, 2012.
- Florin, T.A., Ludwig, S., Aronson, P.L., Werner, H.C., *Netter's pediatrics*, Elsevier Saunders, USA, 2011.
- Fosang, A., Galea, M., Mc Coy, A., Reddihough, D., Story, I., *Measures of muscle and joint performance in the lower limb of children with cerebral palsy*, Developmental Medicine & Child Neurology, 45: 664-670, 2003.
- Fragala-Pinkham, M., Haley, S., O'Neil, M., *Group aquatic aerobic exercise for children with disabilities*, Developmental Medicine & Child Neurology, 50: 822-827, 2008.
- Geytenbeek, J., *Evidence for effective hydrotherapy*, Physiotherapy, 88: 514-29, 2002.
- Gorter, J.W., Currie, S.J., *Aquatic exercise programs for children and adolescents with cerebral palsy: What do we know and where do we go?*, International Journal of Pediatrics, 1-7, 2011.
- Gunel, MK., Mutlu, A., Tarsuslu, T., Livanelioglu, A., *Relationship among the Manual Ability Classification System (MACS), the Gross Motor Function Classification System (GMFCS), and the functional status (WeeFIM) in children with spastic cerebral palsy*, Eur J Pediatr, 168: 477-485, 2009.
- Herrero, P., Carrera, P., Garcia, E., Gomez-Trullen, E., Oliván-Blázquez, B., *Reliability of goniometric measurements in children with cerebral palsy: A comparative analysis of universal goniometer and electronic inclinometer. A pilot study*, BMC Musculoskeletal Disorders, 12: 155, 2011.
- Hutzler, Y., Chacham, A., Bergman, U., Szeinberg, A., *Effects of a movement and swimming program on vital capacity and water orientation skills of children with cerebral palsy*, Developmental Medicine & Child Neurology, 40: 176-181, 1998.
- Kane, J., Sternheim, M., *Physique*, 3^{ème} éd., Dunod, Paris, 2004.

- Kelly, M., Darrah, J., *Aquatic exercise for children with cerebral palsy*, Developmental Medicine & Child Neurology, 47: 838-842, 2005.
- Kemoun, G., Watelain, E., Carette, P., *Hydrokinésithérapie*, Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, Elsevier, 2006.
- Lambeck, J., Gamper, U., *The Halliwick Concept*, in chapter 3 Comprehensive aquatic therapy 3rd ed., edited by Bruce E. Becker and Andrew J. Cole, USA, 2010.
- Le Métayer, M., *Rééducation cérébro-motrice du jeune enfant. Éducation thérapeutique*, 2 éd., Masson, Paris, 1999.
- Leroy-Malherbe, V., *L'infirmité motrice cérébrale, Déficiences motrices et situations de handicaps*, Editions APF, 2002.
- Lyon, G., Évard, P., *Neuropédiatrie*, 2 éd., Masson, Paris, 2000.
- McDowell, B., Hewitt, V., Nurse, A., Weston, T., Baker, R., *The variability of goniometric measurements in ambulatory children with spastic cerebral palsy*, Gait & Posture, 12: 114-121, 2000.
- Miller, F., Bachrach, S., *Cerebral Palsy. A complete Guide for Caregiving*, The Johns Hopkins University Press, USA, 1995.
- Nordmark, E., Häggglund, G., Lauge-Pedersen, H., Wagner, P., Westbom, L., *Development of lower limb range of motion from early childhood to adolescence in cerebral palsy: a population-based study*, BMC Medicine, 7: 65, 2009.
- Reddihough, D.S., Collins, K.J., *The epidemiology and causes of cerebral palsy*, Australian Journal of Physiotherapy, 49: 7-12, 2003.
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D., Dan, B., Jacobsson, B., A report : *The Definition and Classification of Cerebral Palsy*, Developmental Medicine & Child Neurology, 109: 8-14, 2007.
- Royer, A., Ceconello, R., *Bilans articulaires cliniques et goniométriques. Généralités*, EMC-Podologie Kinésithérapie, 1: 82-91, 2004.

- Rumeau-Rouquette, C., Mazaubrun, C., Cans, C., Grandjean, H., *Définition et prévalence des polyhandicaps à l'âge scolaire*, Archives de Pédiatrie, 5: 739-744, 1998.
- Shevell, M., Dagenais, L., Oskoui, M., *The Epidemiology of Cerebral Palsy: New Perspectives From a Canadian Registry*, Seminars in Pediatric Neurology, 20: 60-64, 2013.
- Stanley, F. J., *The aetiology of cerebral palsy*, Early Human Development, 36: 81-88, 1994.
- Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE), *Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers*, Developmental Medicine & Child Neurology, 42: 816–824, 2000.
- Tecklin, J., *Pediatric physical therapy*, 4th ed., Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2008.
- Truscelli, D., Le Metayer, M., Leroy-Malherbe, V., *Infirmité motrice cérébrale*, Traité de Médecine Akos, Elsevier, 2006.
- Viehweger, E., Bérard, C., Berruyer, A., Simeoni, M.-C., *Bilan articulaire des membres inférieurs d'un enfant atteint d'une infirmité motrice cérébrale*, Annales de Réadaptation et de Médecine Physique, 50: 258-265, 2007.

VII. Annexes

VII.1. Tableaux des données du membre supérieur

MEMBRE SUPERIEUR - FLEXION									
Sujets	EPAULE			COUDE			POIGNET		
	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre
1	168°	161°	168°	152°	158°	152°	92°	90°	80°
2	165°	169°	-	150°	153°	-	114°	105°	-
3	166°	170°	179°	167°	168°	161°	120°	115°	128°
4	166°	168°	169°	159°	160°	160°	116°	114°	110°
5	151°	156°	155°	148°	148°	152°	82°	100°	105°
6	158°	164°	154°	160°	165°	164°	110°	115°	106°
7	160°	154°	156°	164°	168°	166°	108°	122°	122°
8	145°	142°	145°	160°	162°	162°	102°	104°	105°
9	156°	151°	155°	161°	164°	165°	121°	134°	130°
10	154°	158°	156°	152°	154°	156°	110°	102°	104°
11	152°	150°	160°	164°	164°	164°	106°	114°	117°
12	157°	159°	158°	158°	164°	161°	142°	140°	146°
13	145°	147°	150°	163°	160°	161°	130°	131°	132°
14	150°	161°	159°	162°	164°	165°	105°	112°	105°
15	147°	160°	162°	164°	163°	159°	110°	111°	124°

MEMBRE SUPERIEUR - EXTENSION									
Sujets	EPAULE			COUDE			POIGNET		
	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre
1	-	-	-	-4°	-4°	-9°	71°	79°	74°
2	-	-	-	2°	2°	-	86°	92°	-
3	-	-	-	2°	0°	4°	106°	116°	123°
4	-	-	-	1°	2°	3°	91°	94°	92°
5	-	-	-	2°	2°	2°	95°	95°	98°
6	-	-	-	-1°	2°	5°	98°	102°	100°
7	-	-	-	1°	2°	2°	100°	102°	110°
8	-	-	-	0°	3°	6°	98°	105°	103°
9	-	-	-	-1°	-4°	-4°	85°	82°	88°
10	-	-	-	1°	0°	5°	85°	85°	86°
11	-	-	-	5°	9°	11°	110°	115°	110°
12	-	-	-	-27°	-18°	-16°	26°	24°	46°
13	-	-	-	-10°	-8°	-10°	96°	100°	109°
14	-	-	-	-3°	-1°	-5°	105°	105°	109°
15	-	-	-	0°	5°	4°	115°	118°	115°

VII.2. Tableaux des données du membre inférieur

MEMBRE INFÉRIEUR- FLEXION									
	HANCHE			GENOU			CHEVILLE		
Sujets	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre
1	121°	134°	125°	140°	149°	148°	19°	46°	43°
2	112°	130°	-	159°	164°	-	0°	-8°	-
3	141°	138°	148°	157°	159°	158°	16°	20°	23°
4	115°	127°	119°	146°	152°	148°	18°	21°	21°
5	101°	108°	102°	137°	143°	135°	15°	11°	9°
6	131°	132°	132°	159°	157°	154°	24°	27°	24°
7	146°	148°	140°	160°	162°	161°	11°	14°	20°
8	148°	146°	141°	159°	155°	158°	6°	4°	12°
9	119°	130°	122°	158°	160°	155°	16°	27°	26°
10	125°	129°	130°	158°	159°	155°	23°	22°	22°
11	152°	152°	147°	158°	158°	157°	20°	21°	27°
12	126°	128°	128°	151°	155°	145°	8°	12°	10°
13	121°	124°	126°	151°	150°	151°	-1°	6°	3°
14	124°	132°	128°	160°	159°	158°	12°	13°	17°
15	124°	128°	130°	158°	160°	159°	10°	10°	21°

MEMBRE INFÉRIEUR- EXTENSION									
	HANCHE			GENOU			CHEVILLE		
Sujets	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre	Avant	Après	Retour centre
1	16°	21°	19°	-5°	-5°	-2°	16°	20°	25°
2	2°	16°	-	-3°	1°	-	55°	44°	-
3	19°	20°	23°	8°	9°	13°	36°	24°	37°
4	20°	32°	22°	0°	4°	6°	23°	28°	19°
5	11°	14°	20°	-3°	0°	2°	20°	19°	29°
6	18°	29°	27°	4°	11°	10°	29°	36°	33°
7	25°	28°	27°	6°	2°	4°	42°	45°	42°
8	24°	26°	26°	-19°	-11°	-7°	43°	41°	40°
9	20°	35°	24°	-5°	-4°	-4°	36°	29°	38°
10	29°	32°	30°	0°	1°	0°	24°	24°	25°
11	35°	43°	38°	7°	5°	12°	22°	50°	45°
12	20°	28°	30°	-14°	-11°	-13°	35°	46°	32°
13	5°	12°	7°	-27°	-22°	-23°	24°	32°	36°
14	25°	25°	26°	-13°	-7°	-10°	25°	21°	25°
15	25°	29°	23°	12°	11°	8°	40°	40°	42°

VII.3. Tableaux statistiques

Test ANOVA – Épaule

Flexion

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Epaule avant	155,36	7,662	14
Epaule après	157,21	7,866	14
Epaule retour centre	159,00	8,521	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,963	,449	2	,799

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	92,905	2	46,452	2,900	,073
	Greenhouse-Geisser	92,905	1,929	48,158	2,900	,075
	Huynh-Feldt	92,905	2,000	46,452	2,900	,073
	Borne inférieure	92,905	1,000	92,905	2,900	,112
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	416,429	26	16,016		
	Greenhouse-Geisser	416,429	25,079	16,604		
	Huynh-Feldt	416,429	26,000	16,016		
	Borne inférieure	416,429	13,000	32,033		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-1,857	1,607	,805	-6,268	2,554
	3	-3,643	1,557	,108	-7,918	,633
2	1	1,857	1,607	,805	-2,554	6,268
	3	-1,786	1,363	,639	-5,530	1,958
3	1	3,643	1,557	,108	-,633	7,918
	2	1,786	1,363	,639	-1,958	5,530

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Test ANOVA – Coude

Flexion

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Coude avant	159,57	5,445	14
Coude après	161,57	5,402	14
Coude retour centre	160,57	4,519	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,934	,820	2	,664

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	28,000	2	14,000	3,067	,064
	Greenhouse-Geisser	28,000	1,876	14,924	3,067	,068
	Huynh-Feldt	28,000	2,000	14,000	3,067	,064
	Borne inférieure	28,000	1,000	28,000	3,067	,103
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	118,667	26	4,564		
	Greenhouse-Geisser	118,667	24,390	4,865		
	Huynh-Feldt	118,667	26,000	4,564		
	Borne inférieure	118,667	13,000	9,128		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-2,000*	,703	,041	-3,931	-,069
	3	-1,000	,883	,834	-3,425	1,425
2	1	2,000*	,703	,041	,069	3,931
	3	1,000	,825	,742	-1,267	3,267
3	1	1,000	,883	,834	-1,425	3,425
	2	-1,000	,825	,742	-3,267	1,267

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Extension

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Coude avant	-2,43	7,891	14
Coude après	-,71	6,474	14
Coude retour centre	-,14	7,513	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,739	3,626	2	,163

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	39,619	2	19,810	3,308	,053
	Greenhouse-Geisser	39,619	1,586	24,976	3,308	,066
	Huynh-Feldt	39,619	1,771	22,377	3,308	,060
	Borne inférieure	39,619	1,000	39,619	3,308	,092
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	155,714	26	5,989		
	Greenhouse-Geisser	155,714	20,622	7,551		
	Huynh-Feldt	155,714	23,017	6,765		
	Borne inférieure	155,714	13,000	11,978		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-1,714	,822	,172	-3,970	,542
	3	-2,286	1,136	,196	-5,405	,834
2	1	1,714	,822	,172	-,542	3,970
	3	-,571	,775	1,000	-2,701	1,558
3	1	2,286	1,136	,196	-,834	5,405
	2	,571	,775	1,000	-1,558	2,701

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Test ANOVA – Poignet

Flexion palmaire

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Poignet avant	111,00	14,895	14
Poignet après	114,57	13,743	14
Poignet retour centre	115,29	16,476	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,863	1,773	2	,412

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	147,619	2	73,810	2,201	,131
	Greenhouse-Geisser	147,619	1,759	83,945	2,201	,138
	Huynh-Feldt	147,619	2,000	73,810	2,201	,131
	Borne inférieure	147,619	1,000	147,619	2,201	,162
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	871,714	26	33,527		
	Greenhouse-Geisser	871,714	22,861	38,132		
	Huynh-Feldt	871,714	26,000	33,527		
	Borne inférieure	871,714	13,000	67,055		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-3,571	2,037	,309	-9,166	2,023
	3	-4,286	2,558	,353	-11,310	2,738
2	1	3,571	2,037	,309	-2,023	9,166
	3	-,714	1,917	1,000	-5,978	4,550
3	1	4,286	2,558	,353	-2,738	11,310
	2	,714	1,917	1,000	-4,550	5,978

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Flexion dorsale

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Poignet avant	91,50	21,964	14
Poignet après	94,43	23,624	14
Poignet retour centre	97,36	19,665	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,598	6,176	2	,046

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	240,143	2	120,071	6,560	,005
	Greenhouse-Geisser	240,143	1,426	168,378	6,560	,012
	Huynh-Feldt	240,143	1,552	154,692	6,560	,010
	Borne inférieure	240,143	1,000	240,143	6,560	,024
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	475,857	26	18,302		
	Greenhouse-Geisser	475,857	18,541	25,665		
	Huynh-Feldt	475,857	20,181	23,579		
	Borne inférieure	475,857	13,000	36,604		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-2,929*	1,008	,037	-5,697	-,161
	3	-5,857*	1,741	,015	-10,638	-1,076
2	1	2,929*	1,008	,037	,161	5,697
	3	-2,929	1,948	,470	-8,279	2,422
3	1	5,857*	1,741	,015	1,076	10,638
	2	2,929	1,948	,470	-2,422	8,279

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Test ANOVA – Hanche

Flexion

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Hanche avant	128,14	14,141	14
Hanche après	132,57	11,085	14
Hanche retour centre	129,86	11,948	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,959	,501	2	,778

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	139,619	2	69,810	5,539	,010
	Greenhouse-Geisser	139,619	1,921	72,664	5,539	,011
	Huynh-Feldt	139,619	2,000	69,810	5,539	,010
	Borne inférieure	139,619	1,000	139,619	5,539	,035
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	327,714	26	12,604		
	Greenhouse-Geisser	327,714	24,979	13,120		
	Huynh-Feldt	327,714	26,000	12,604		
	Borne inférieure	327,714	13,000	25,209		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-4,429*	1,358	,019	-8,156	-,701
	3	-1,714	1,211	,541	-5,039	1,611
2	1	4,429*	1,358	,019	,701	8,156
	3	2,714	1,447	,250	-1,258	6,687
3	1	1,714	1,211	,541	-1,611	5,039
	2	-2,714	1,447	,250	-6,687	1,258

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Extension

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Hanche avant	20,86	7,410	14
Hanche après	26,71	8,147	14
Hanche retour centre	24,43	6,947	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,873	1,633	2	,442

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	244,000	2	122,000	13,365	,000
	Greenhouse-Geisser	244,000	1,774	137,526	13,365	,000
	Huynh-Feldt	244,000	2,000	122,000	13,365	,000
	Borne inférieure	244,000	1,000	244,000	13,365	,003
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	237,333	26	9,128		
	Greenhouse-Geisser	237,333	23,065	10,290		
	Huynh-Feldt	237,333	26,000	9,128		
	Borne inférieure	237,333	13,000	18,256		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

					Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*		
1	2	-5,857*	1,195	,001	-9,137	-2,577
	3	-3,571*	,924	,006	-6,109	-1,034
2	1	5,857*	1,195	,001	2,577	9,137
	3	2,286	1,277	,290	-1,221	5,793
3	1	3,571*	,924	,006	1,034	6,109
	2	-2,286	1,277	,290	-5,793	1,221

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Test ANOVA – Genou

Flexion

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Genou avant	153,71	7,650	14
Genou après	155,57	5,331	14
Genou retour centre	153,00	7,027	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,999	,010	2	,995

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	49,333	2	24,667	4,129	,028
	Greenhouse-Geisser	49,333	1,998	24,686	4,129	,028
	Huynh-Feldt	49,333	2,000	24,667	4,129	,028
	Borne inférieure	49,333	1,000	49,333	4,129	,063
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	155,333	26	5,974		
	Greenhouse-Geisser	155,333	25,979	5,979		
	Huynh-Feldt	155,333	26,000	5,974		
	Borne inférieure	155,333	13,000	11,949		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-1,857	,937	,207	-4,429	,715
	3	,714	,916	1,000	-1,802	3,231
2	1	1,857	,937	,207	-,715	4,429
	3	2,571 *	,918	,045	,050	5,093
3	1	-,714	,916	1,000	-3,231	1,802
	2	-2,571 *	,918	,045	-5,093	-,050

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Extension

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Genou avant	-3,50	11,271	14
Genou après	-1,21	9,464	14
Genou retour centre	-,29	10,373	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,899	1,280	2	,527

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	76,619	2	38,310	6,276	,006
	Greenhouse-Geisser	76,619	1,816	42,184	6,276	,008
	Huynh-Feldt	76,619	2,000	38,310	6,276	,006
	Borne inférieure	76,619	1,000	76,619	6,276	,026
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	158,714	26	6,104		
	Greenhouse-Geisser	158,714	23,612	6,722		
	Huynh-Feldt	158,714	26,000	6,104		
	Borne inférieure	158,714	13,000	12,209		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-2,286	,934	,088	-4,851	,280
	3	-3,214*	1,054	,028	-6,110	-,319
2	1	2,286	,934	,088	-,280	4,851
	3	-,929	,795	,791	-3,111	1,254
3	1	3,214*	1,054	,028	,319	6,110
	2	,929	,795	,791	-1,254	3,111

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Test ANOVA – Cheville

Flexion dorsale

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Cheville avant	14,07	6,911	14
Cheville après	18,14	10,791	14
Cheville retour centre	19,86	9,718	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,736	3,678	2	,159

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	247,286	2	123,643	5,809	,008
	Greenhouse-Geisser	247,286	1,582	156,283	5,809	,014
	Huynh-Feldt	247,286	1,765	140,106	5,809	,011
	Borne inférieure	247,286	1,000	247,286	5,809	,031
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	553,381	26	21,284		
	Greenhouse-Geisser	553,381	20,570	26,903		
	Huynh-Feldt	553,381	22,945	24,118		
	Borne inférieure	553,381	13,000	42,568		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-4,071	2,029	,198	-9,642	1,499
	3	-5,786*	1,867	,025	-10,912	-,659
2	1	4,071	2,029	,198	-1,499	9,642
	3	-1,714	1,233	,564	-5,101	1,672
3	1	5,786*	1,867	,025	,659	10,912
	2	1,714	1,233	,564	-1,672	5,101

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Flexion plantaire

Statistiques descriptives

	Moyenne	Erreur type	N
Cheville avant	29,64	8,837	14
Cheville après	32,50	10,501	14
Cheville retour centre	33,43	7,881	14

Tests de sphéricité de Mauchly

Mesure: MEASURE_1

Effet intrasujets	W de Mauchly	Khi-deux approx.	ddl	Signification
Temps	,873	1,633	2	,442

Tests des effets intrasujets

Mesure: MEASURE_1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Carré moyen	F	Signification
Temps	Hypothèse de sphéricité	109,000	2	54,500	1,646	,212
	Greenhouse-Geisser	109,000	1,774	61,433	1,646	,216
	Huynh-Feldt	109,000	2,000	54,500	1,646	,212
	Borne inférieure	109,000	1,000	109,000	1,646	,222
Erreur (temps)	Hypothèse de sphéricité	861,000	26	33,115		
	Greenhouse-Geisser	861,000	23,066	37,328		
	Huynh-Feldt	861,000	26,000	33,115		
	Borne inférieure	861,000	13,000	66,231		

Comparaisons appariées

Mesure: MEASURE_1

(I) Temps		Différence moyenne (I-J)	Erreur std.	Signification*	Intervalle de confiance à 95 % pour la différence*	
					Borne inférieure	Borne supérieure
1	2	-2,857	2,533	,839	-9,813	4,098
	3	-3,786	1,953	,224	-9,149	1,578
2	1	2,857	2,533	,839	-4,098	9,813
	3	-,929	1,990	1,000	-6,394	4,537
3	1	3,786	1,953	,224	-1,578	9,149
	2	,929	1,990	1,000	-4,537	6,394

*Ajustement pour les comparaisons multiples : Bonferroni.

Tests de corrélation

Flexion

Statistiques des échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	EpauleClass	156,00	15	7,792	2,012
	EpauleHall	157,20	15	7,153	1,847
Paire 2	CoudeClass	158,93	15	5,800	1,498
	CoudeHall	158,07	15	7,507	1,938
Paire 3	PoignetClass	111,20	15	14,374	3,711
	PoignetHall	105,80	15	20,090	5,187
Paire 4	HancheClass	127,07	15	14,250	3,679
	HancheHall	126,40	15	19,401	5,009
Paire 5	GenouClass	154,07	15	7,497	1,936
	GenouHall	153,67	15	6,091	1,573
Paire 6	ChevClass	13,13	15	7,586	1,959
	ChevHall	11,80	15	16,721	4,317

Corrélations des échantillons appariés

		N	Corrélation	Sig.
Paire 1	EpauleClass	15	,381	0,16166
	EpauleHall			
Paire 2	CoudeClass	15	,409	0,13048
	CoudeHall			
Paire 3	PoignetClass	15	,449	0,09329
	PoignetHall			
Paire 4	HancheClass	15	,756	0,00110
	HancheHall			
Paire 5	GenouClass	15	,795	0,00039
	GenouHall			
Paire 6	ChevClass	15	,537	0,03907
	ChevHall			

Extension

Statistiques des échantillons appariés

		Moyenne	N	Ecart type	Moyenne erreur standard
Paire 1	CoudeClass	-2,13	15	7,689	1,985
	CoudeHall	-3,07	15	12,003	3,099
Paire 2	PoignetClass	91,13	15	21,213	5,477
	PoignetHall	92,13	15	18,708	4,830
Paire 3	HancheClass	19,60	15	8,642	2,231
	HancheHall	19,67	15	9,649	2,491
Paire 4	GenouClass	-3,47	15	10,862	2,805
	GenouHall	-,93	15	11,979	3,093
Paire 5	ChevClass	31,33	15	10,742	2,773
	ChevHall	36,40	15	13,840	3,573

Corrélations des échantillons appariés

		N	Corrélation	Sig.
Paire 1	CoudeClass CoudeHall	15	,912	0,00000
Paire 2	PoignetClass PoignetHall	15	,739	0,00163
Paire 3	HancheClass HancheHall	15	,636	0,01088
Paire 4	GenouClass GenouHall	15	,881	0,00001
Paire 5	ChevClass ChevHall	15	,057	0,83961

$0,01 \leq p < 0,05$	Significatif
$0,001 \leq p < 0,01$	Hautement significatif
$p < 0,001$	Très hautement significatif