



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

ANNÉE 2019 N°219

# Effets fonctionnels moteurs de la Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle chez l'enfant Paralysé Cérébral.

THESE D'EXERCICE EN MEDECINE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1  
Et soutenue publiquement le 14/10/2019  
En vue d'obtenir le titre de Docteur en Médecine

Par  
Amélie FUSTIER née le 16/01/1991 à Lyon

Sous la direction du Dr Jean-Claude BERNARD

# UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

Président	Pr Frédéric FLEURY
Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales	Pr Pierre COCHAT
Directeur Général des services	M. Damien VERHAEGHE
<b>Secteur Santé :</b>	
Doyen de l'UFR de Médecine Lyon Est	Pr Gilles RODE
Doyenne de l'UFR de Médecine Lyon-Sud Charles Mérieux	Pr Carole BURILLON
Doyenne de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques (ISPB)	Pr Christine VINCIGUERRA
Doyenne de l'UFR d'Odontologie	Pr Dominique SEUX
Directrice du département de Biologie Humaine	Pr Anne-Marie SCHOTT
<b>Secteur Sciences et Technologie :</b>	
Administratrice Provisoire de l'UFR BioSciences	Pr Kathrin GIESELER
Administrateur Provisoire de l'UFR Faculté des Sciences Et Technologies	Pr Bruno ANDRIOLETTI
Directeur de l'UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)	M. Yannick VANPOULLE
Directeur de Polytech	Pr Emmanuel PERRIN
Directeur de l'IUT	Pr Christophe VITON
Directeur de l'Institut des Sciences Financières Et Assurances (ISFA)	M. Nicolas LEBOISNE
Directrice de l'Observatoire de Lyon	Pr Isabelle DANIEL
Administrateur Provisoire de l'Institut National Supérieur du Professorat et de l'Education (INSPé)	M. Pierre CHAREYRON
Directrice du Département Composante Génie Electrique et Procédés (GEP)	Pr Rosaria FERRIGNO
Directeur du Département Composante Informatique	Pr Behzad SHARIAT TORBAGHAN
Directeur du Département Composante Mécanique	Pr Marc BUFFAT



## Faculté de Médecine Lyon Est Liste des enseignants 2019/2020

### Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 2

BLAY	Jean-Yves	Cancérologie ; radiothérapie
BORDON-CHAZOT	Françoise	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
COCHAT	Pierre	Pédiatrie
ETIENNE	Jérôme	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUERIN	Claude	Réanimation ; médecine d'urgence
GUERIN	Jean-François	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
MORNEX	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
NISCHOCOSIAN	Norbert	Neurologie
NINET	Jean	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
OVIZE	Michel	Physiologie
PONCHON	Thierry	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
REVEL	Didier	Radiologie et imagerie médicale
RIVOIRE	Michel	Cancérologie ; radiothérapie
THIVOLET-BEAU	Françoise	Anatomie et cytologie pathologiques
VANDENESCH	François	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

### Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 1

BOILLOT	Olivier	Chirurgie viscérale et digestive
BRETON	Pierre	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
CHASSARD	Dominique	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
CLARIS	Olivier	Pédiatrie
COLIN	Cyrille	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
D'AMATO	Thierry	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
DÉLAHAYE	François	Cardiologie
DENS	Philippe	Ophthalmologie
DOUËK	Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DUCERF	Christian	Chirurgie viscérale et digestive
DUREU	Isabelle	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillessement ; médecine générale ; addictologie
FINET	Gérard	Cardiologie
GAUCHERAND	Fascial	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
GUEYFFER	François	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
HERZBERG	Guillaume	Chirurgie orthopédique et traumatologique
HONORAT	Jérôme	Neurologie
LACHAUX	Alain	Pédiatrie
LERMUSIAUX	Patrick	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
LINA	Bruno	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière



MERTENS	Patrick	Anatomie
MIOSSEC	Pierre	Immunologie
MORELON	Emmanuel	Néphrologie
MOULIN	Philippe	Nutrition
NEGRIER	Claude	Hématologie ; transfusion
NEGRIER	Sylvie	Cancérologie ; radiothérapie
OBADIA	Jean-François	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
RODE	Gilles	Médecine physique et de réadaptation
TERRA	Jean-Louis	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
ZOULIM	Fabien	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

## Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers

### Première classe

ADER	Florence	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
ANDRE-FOUET	Xavier	Cardiologie
ARGAUD	Laurent	Réanimation ; médecine d'urgence
AUBRUN	Frédéric	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
BADET	Lionel	Urologie
BERTHEZENE	Yves	Radiologie et imagerie médicale
BERTRAND	Yves	Pédiatrie
BESSEREAU	Jean-Louis	Biologie cellulaire
BRAYE	Fabienne	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
CHARBOTEL	Barbara	Médecine et santé au travail
CHEVALIER	Philippe	Cardiologie
COLOMBEL	Marc	Urologie
COTTIN	Vincent	Pneumologie ; addictologie
COTTON	François	Radiologie et imagerie médicale
DEVOUSSOUX	Mojgan	Anatomie et cytologie pathologiques
DI FILLIPO	Sylvie	Cardiologie
DUBERNARD	Gil	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
DUMONTET	Charles	Hématologie ; transfusion
DUMORTIER	Jérôme	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
EDERY	Charles Patrick	Génétique
FAUVEL	Jean-Pierre	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
FELLAHI	Jean-Luc	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
FERRY	Tristan	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
FOURNERET	Pierre	Pédopsychiatrie ; addictologie
GUENOT	Marc	Neurochirurgie
GUIBAUD	Laurent	Radiologie et imagerie médicale
JACQUIN-COURTOIS	Sophie	Médecine physique et de réadaptation
JAVOUHEY	Etienne	Pédiatrie
JUILLARD	Laurent	Néphrologie
JULLIEN	Denis	Dermato-vénéréologie
KODJIKIAN	Laurent	Ophtalmologie
KROLAK SALMON	Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillessement ; médecine générale ; addictologie
LEJEUNE	Hervé	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
MABRUT	Jean-Yves	Chirurgie générale
MERLE	Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MICHEL	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MURE	Pierre-Yves	Chirurgie infantile
NICOLINO	Marc	Pédiatrie
PICOT	Stéphane	Parasitologie et mycologie
PONCET	Gilles	Chirurgie viscérale et digestive
RAVEROT	Gérald	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale

ROSSETTI	Yves	Physiologie
ROUVIERE	Olivier	Radiologie et imagerie médicale
ROY	Pascal	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
SAOUD	Mohamed	Psychiatrie d'adultes et addictologie
SCHAEFFER	Laurent	Biologie cellulaire
SCHÖBER	Christian	Biophysique et médecine nucléaire
SCHOTT-PETHELAZ	Anne-Marie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
TILKETE	Caroline	Physiologie
TRUY	Eric	Oto-rhino-laryngologie
TURMAN	Francis	Radiologie et imagerie médicale
VANHEMS	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
VUKUSIC	Sandra	Neurologie

**Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers**  
**Seconde Classe**

BACCHETTA	Justine	Pédiatrie
BOUSSEL	Loïc	Radiologie et imagerie médicale
BULUCA DARGAUD	Yesim	Hématologie ; transfusion
CALENDER	Alain	Génétique
CHAPURLAT	Roland	Rhumatologie
CHENE	Gautier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
COLLARDEAU FRACHON	Sophie	Anatomie et cytologie pathologiques
CONFAVREUX	Cyrille	Rhumatologie
CROLZET	Sébastien	Urologie
CUCHERAT	Michel	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAVID	Jean-Stéphane	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
DI RICCIO	Federico	Neurochirurgie
DUBOURG	Laurence	Physiologie
DUCLOS	Antoine	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
DUCRAY	François	Neurologie
FANTON	Laurent	Médecine légale
GILLET	Yves	Pédiatrie
GLEZAL	Amaud	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
GUEBRE-EZZABHER	Fisum	Néphrologie
HENANE	Roland	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HOT	Amaud	Médecine interne
HUSSOUD	Cyril	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
JANER	Marc	Biophysique et médecine nucléaire
JARRAUD	Sophie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LÉCURTEL	Mickaël	Chirurgie générale
LEVRERO	Massimo	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
LUKASZEWICZ	Anne-Claire	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
MAUCORT BOULCH	Delphine	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MEYTON	Nathan	Cardiologie
MEYRONET	David	Anatomie et cytologie pathologiques
MILLION	Antoine	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
MONNEUSE	Olivier	Chirurgie générale
NATAF	Serge	Cytologie et histologie
PERETTI	Noël	Nutrition
POULET	Emmanuel	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
RAY-COQUARD	Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
RHEIMS	Sylvain	Neurologie
RICHARD	Jean-Christophe	Réanimation ; médecine d'urgence
RIMELE	Thomas	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
ROBERT	Maud	Chirurgie digestive



ROSSETTI	Yves	Physiologie
ROUVIERE	Olivier	Radiologie et imagerie médicale
ROY	Pascal	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
SAOUD	Mohamed	Psychiatrie d'adultes et addictologie
SCHAEFFER	Laurent	Biologie cellulaire
SCHEIBER	Christian	Biophysique et médecine nucléaire
SCHOTT-PETHELAZ	Anne-Marie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
TILIKETE	Caroline	Physiologie
TRUY	Eric	Oto-rhino-laryngologie
TURJMAN	Francis	Radiologie et imagerie médicale
VANHEMS	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
VUKUSIC	Sandra	Neurologie

## Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Seconde Classe

BACCHETTA	Justine	Pédiatrie
BOUSSEL	Loïc	Radiologie et imagerie médicale
BUZLUCA DARGAUD	Yesim	Hématologie ; transfusion
CALENDER	Alain	Génétique
CHAPURLAT	Roland	Rhumatologie
CHENE	Gautier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
COLLARDEAU FRACHON	Sophie	Anatomie et cytologie pathologiques
CONFAVREUX	Cyrille	Rhumatologie
CROUZET	Sébastien	Urologie
CUCHERAT	Michel	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAVID	Jean-Stéphane	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
DI ROCCO	Federico	Neurochirurgie
DUBOURG	Laurence	Physiologie
DUCLOS	Antoine	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
DUCRAY	François	Neurologie
FANTON	Laurent	Médecine légale
GILLET	Yves	Pédiatrie
GLEIZAL	Arnaud	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
GUEBRE-EGZIABHER	Fitsum	Néphrologie
HENAINE	Roland	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HOT	Arnaud	Médecine interne
HUISSOUD	Cyril	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
JANIER	Marc	Biophysique et médecine nucléaire
JARRAUD	Sophie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LESURTEL	Mickaël	Chirurgie générale
LEVRERO	Massimo	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
LUKASZEWICZ	Anne-Claire	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
MAUCORT BOULCH	Delphine	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MEWTON	Nathan	Cardiologie
MEYRONET	David	Anatomie et cytologie pathologiques
MILLION	Antoine	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
MONNEUSE	Olivier	Chirurgie générale
NATAF	Serge	Cytologie et histologie
PERETTI	Noël	Nutrition
POULET	Emmanuel	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
RAY-COQUARD	Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
RHEIMS	Sylvain	Neurologie
RICHARD	Jean-Christophe	Réanimation ; médecine d'urgence
RIMMELE	Thomas	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
ROBERT	Maud	Chirurgie digestive

ROMAN	Sabine	Physiologie
SOUQUET	Jean-Christophe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
THAUNAT	Olivier	Néphrologie
THIBAUT	Hélène	Physiologie
VENET	Fabienne	Immunologie
WATTEL	Eric	Hématologie ; transfusion

**Professeur des Universités  
Classe exceptionnelle**

PERRU	Olivier	Epistémologie, histoire des sciences et techniques
-------	---------	----------------------------------------------------

**Professeur des Universités - Médecine Générale**

FLORI	Marie
LETRILLIART	Laurent
ZERBIB	Yves

**Professeurs associés de Médecine Générale**

FARGE	Thierry
LAINÉ	Xavier

**Professeurs associés autres disciplines**

BERARD	Annick	Pharmacie fondamentale ; pharmacie clinique
LAMBLIN	Géry	Médecine Palliative

**Professeurs émérites**

BAULIEUX	Jacques	Cardiologie
BEZIAT	Jean-Luc	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
CHAYVIALLE	Jean-Alain	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
CORDIER	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
DALIGAND	Liliane	Médecine légale et droit de la santé
DROZ	Jean-Pierre	Cancérologie ; radiothérapie
FLORET	Daniel	Pédiatrie
GHARIB	Claude	Physiologie
LEHOT	Jean-Jacques	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
MARTIN	Xavier	Urologie
MAUGUIERE	François	Neurologie
MELLIER	Georges	Gynécologie
MICHALLET	Mauricette	Hématologie ; transfusion
MOREAU	Alain	Médecine générale
NEIDHARDT	Jean-Pierre	Anatomie
PUGEAUT	Michel	Endocrinologie
RUDIGOZ	René-Charles	Gynécologie
SINDOU	Marc	Neurochirurgie
TOURAINÉ	Jean-Louis	Néphrologie
TREPO	Christian	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
TROUILLAS	Jacqueline	Cytologie et histologie



## Maitres de Conférence – Praticiens Hospitaliers

### Hors classe

BENCHAIB	Mehdi	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
BRINGUIER	Pierre-Paul	Cytologie et histologie
CHALABREYSSE	Lara	Anatomie et cytologie pathologiques
GERMAIN	Michèle	Physiologie
KOLOPP-SARDA	Marie Nathalie	Immunologie
LE BARS	Didier	Biophysique et médecine nucléaire
NORMAND	Jean-Claude	Médecine et santé au travail
PERSAT	Florence	Parasitologie et mycologie
PIATON	Eric	Cytologie et histologie
SAPPEY-MARINIER	Dominique	Biophysique et médecine nucléaire
STREICHENBERGER	Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
TARDY GUIDOLLET	Véronique	Biochimie et biologie moléculaire

## Maitres de Conférence – Praticiens Hospitaliers

### Première classe

BONTEMPS	Laurence	Biophysique et médecine nucléaire
CHARRIERE	Sybil	Nutrition
COZON	Grégoire	Immunologie
ESCURET	Vanessa	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
HERVIEU	Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
LESCA	Gaëtan	Génétique
MENOTTI	Jean	Parasitologie et mycologie
PHAN	Alice	Dermato-vénérologie
PINA-JOMIR	Géraldine	Biophysique et médecine nucléaire
PLOTTON	Ingrid	Biochimie et biologie moléculaire
RABILLOUD	Muriel	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
SCHLUTH-BOLARD	Caroline	Génétique
TRISTAN	Anne	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
VASILJEVIC	Alexandre	Anatomie et cytologie pathologiques
VLAEMINCK-GUILLEM	Virginie	Biochimie et biologie moléculaire

## Maitres de Conférences – Praticiens Hospitaliers

### Seconde classe

BOUCHIAT SARABI	Coralie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
BUTIN	Marine	Pédiatrie
CASALEGNO	Jean-Sébastien	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
CORTET	Marion	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
COUR	Martin	Réanimation ; médecine d'urgence
COUTANT	Frédéric	Immunologie
CURIE	Aurore	Pédiatrie
DURUISSEAU	Michaël	Pneumologie
HAESEBAERT	Julie	Médecin de santé publique
HAESEBAERT	Frédéric	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
JACQUESSON	Timothée	Anatomie
JOSSET	Laurence	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LACQIN REYNAUD	Quitterie	Médecine interne ; gériatrie ; addictologie
LEMOINE	Sandrine	Physiologie

MARIGNIER	Romain	Neurologie
NGUYEN CHU	Huu Kim An	Pédiatrie Néonatalogie Pharmaco Epidémiologie
		Clinique Pharmacovigilance
ROLLAND	Benjamin	Psychiatrie d'adultes
ROUCHER BOULEZ	Florence	Biochimie et biologie moléculaire
SIMONET	Thomas	Biologie cellulaire

**Maître de Conférences**  
**Classe normale**

CHABOT	Hugues	Epistémologie, histoire des sciences et techniques
DALIBERT	Lucie	Epistémologie, histoire des sciences et techniques
LECHOPIER	Nicolas	Epistémologie, histoire des sciences et techniques
NAZARE	Julie-Anne	Physiologie
PANTHU	Baptiste	Biologie Cellulaire
VIGNERON	Amaud	Biochimie, biologie
VINDRIEUX	David	Physiologie

**Maitre de conférence de Médecine Générale**

CHANELIERE	Marc
------------	------

**Maîtres de Conférences associés de Médecine Générale**

DE FREMINVILLE	Humbert
PERROTIN	Sofia
PIGACHE	Christophe
ZORZI	Frédéric

## SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité.

Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés.

Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances.

Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission.

Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque.



## REMERCIEMENTS

Aux membres Jury, aux Professeur MERTENS et LUAUTE dont la confiance m'honore, au Pr JACQUIN-COURTOIS pour son accompagnement bienveillant durant cet internat, au Dr BERNARD dont la ténacité et le dévouement sont un modèle pour moi, au Dr BRINZEU pour l'aide immense qu'il m'a apportée dans ce travail.

Au Professeur SINDOU, pionnier de la chirurgie de la spasticité, travailler sur les dossiers qu'il a traité et avec les chirurgiens qu'il a formé est un honneur.

A notre doyen, le Pr RODE pour son dévouement envers les patients et les étudiants.

Aux âmes généreuses qui ont eu le courage de commencer la lecture de cette thèse, en particulier le Dr CHEMINON (ma reconnaissance est grande), le Dr de CHELLE, le Dr PEROUSE de MONTCLOS, le Dr VERDAGUER, le Dr VINAY et Lorraine CHARVOLIN. Vous avez été moteurs dans ce travail.

A l'équipe de biostatistique : au Dr BOSSARD et à Mr ROCHE, à Mme CHARLOIS pour sa généreuse disponibilité. Aux docteurs VUILLEROT et MORARD et à Mr RIPPERT pour leurs conseils. Aux documentalistes, pour leur réactivité et leur disponibilité.

A mes chefs : au Dr TOURNEBISE pour son enseignement qu'il transmet avec passion, au Dr PONCHELET, HUCHON, DUFOUR, MAURIZI, BOUR, LEVEQUE MICHAUD, GIBERT, CONSTANT, HAVE, SCHMITT dont je n'oublierai pas l'exemple. Aux Dr WAZ et PUGET qui ont éclairé mon orientation. Au Dr CIANCIA, avec qui je me réjouis de pouvoir travailler. Aux jeunes assistants qui m'ont accompagné et réassuré : les Drs MINVIELLE et LUCAS, les Dr LEBEDEL et HAUTIN, les Drs VERDAGUER et TOULOTTE.

Aux rééducateurs qui ont marqué mon internat : Jacques, Fabienne, Jérôme, Isabelle, Audrey, Sophie, Aurélie, Jessica, Eric, Hélène et Hélène, Camille, Manel et Méline, Fanny et Manon

Aux soignants de rééducation qui par leur exemple ont conforté ma vocation pour cette spécialité. A l'équipe d'E2 avec qui j'aurai une grande joie de travailler.

Aux secrétaires médicales dont la bonne humeur et l'aide ont éclairé mes stages. A Christine, Sandrine et Nathalie avec qui j'aurai la chance de travailler.

A mes co-internes dont le soutien et l'entre-aide sont précieux : Laure, Sonia, Cécile et Jean-Baptiste, Lucie C et Guillaume, Florie et Julie, Stéphane, Thomas Piou, Nomena, Cécile, Florence Calmels, Laurène, Margaux, Lucille, Carole, Geoffroy, Mathilde L, Mathilde D., Marie-Morgane.

A mes collègues internes et jeunes chefs, médecin de MPR.

A mes camarades de facultés dont l'éloignement n'efface ni le souvenir ni l'amitié : Philippine, Stéphanie, Daphné, Camille, Chloé, Elodie, Céline, David, Sophie, Natacha, Anne-Solveig, Romain, Eva, Jeanne et Clotilde.

A mes amis qui m'ont soutenue durant ces études : Albane, Hélène, Romane, Louise, Mathilde, Tiphaine et Christian, Mr GUENARD et de CARLAN, Camille, Anne-Gaëlle, Williams, Marie et Oriane, Emeric, Clarisse, Flavia, Florence Chereil, Astrid.

A mes parents dont le soutien affectif et matériel a contribué largement à l'aboutissement de mes études de médecine. A Jacqueline pour son accueil attentionné, salvateur pour la rédaction de cette thèse. A mes neveux dont la naissance et les moments partagés ont été source d'une joie ressourçante. A mes beaux-frères pour leurs conseils et leur amitié. A mes sœurs et à oncle Paul, modèles de rigueur intellectuelle et de générosité, merci.

## Préambule

Chez l'enfant paralysé cérébral, la Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle (RPF) fait partie de l'arsenal thérapeutique de la spasticité. L'indication de ce traitement définitif est délicate et discutée collégalement. Les objectifs de ce travail sont :

- D'observer l'évolution des scores fonctionnels avant et 2 ans après la chirurgie sur une cohorte d'enfant opérés ;
- De recueillir les objectifs attendus et obtenus après la RPF ;
- De relever, sur le long terme, la survenue d'évènements indésirables, les traitements complémentaires de la spasticité et de ses conséquences orthopédiques qui ont été nécessaires ;
- De proposer un recueil standardisé des évaluations pré- et post- opératoire chez tous les enfants bénéficiant d'une RPF.

## Table des matières

Préambule .....	12
LISTE DES ABREVIATIONS .....	15
I-INTRODUCTION .....	16
I-A. La Paralyse Cérébrale (PC) .....	16
I-B. La spasticité.....	20
I-C. La RPF (rhizotomie dorsale sélective ou radicotomie postérieure fonctionnelle) .....	22
II- MATERIEL ET METHODE.....	25
II-A. Critères d’inclusions.....	25
II-B. Critère d’exclusion .....	25
II-C. Mesure éthique et refus .....	25
II-D. Intervention .....	25
II-E. Evaluation.....	27
II-F. Analyses statistiques .....	28
III- RESULTATS .....	29
III-A. Population .....	29
III-B. Description de l’intervention.....	31
III-C. Critères de jugement principaux .....	31
III-C.1. GMFCS.....	31
III-C.2. FAQ de Gillette .....	32
III-C.3. IDE .....	34
III-C.4. EMFG.....	35
III-D. Analyse en sous-groupes de critères de jugement principaux à 2 ans .....	36
III-D.1. Evolution du GMFCS .....	36
III-D.2. Evolution du FAQ .....	36
III-D.3. Evolution de la GMFM .....	37
III-D.4. Evolution de l’IDE.....	38
III-E. Critères de jugement secondaires .....	38
III-E.1. Traitements oraux et intra-thécaux de la spasticité.....	38
III-E.2. Injections de toxine botulique.....	38
III-E.3. Délai avant une chirurgie orthopédique correctrice .....	39
III-E.4. Les objectifs fonctionnels.....	40
III-E.5. Autres effets bénéfiques rapportés .....	41
III-F. Effets indésirables.....	41
IV- DISCUSSION .....	44
IV-A. Discussion sur nos critères de jugements principaux .....	44
IV-A.1. GMFCS .....	44
IV-A.2. GMFM .....	45
IV-A.3. FAQ de Gillette.....	47
IV-A.4. Indice de dépense énergétique .....	49



IV-A.5. Cohérence des résultats .....	50
IV-B. Biais de notre étude .....	51
IV-B.1. Biais d'attrition .....	51
IV-B.2. Biais de mesure, de détection .....	51
IV-B.3. Absence de groupe contrôle.....	51
IV-C. Autres critères de jugement.....	53
IV-C.1. Spasticité.....	53
IV-C.2. Chirurgies orthopédiques correctrices .....	55
IV-C.3. Diminution des douleurs.....	58
IV-C.4. Effets supra-segmentaires et sur les actes de la vie quotidienne.....	58
IV-C.5. Effets sur la qualité de vie (QDV) .....	58
IV-C.6. Effets bénéfiques urinaires .....	59
IV-D. Durabilité de l'effet des RPF .....	59
IV-E. Complications.....	61
IV-E.1. Complications immédiates.....	61
IV-E.2. Complications précoces .....	61
IV-E.3. Complications tardives.....	61
IV-F. Indications à privilégier .....	71
IV-F.1. La topographie de l'atteinte.....	71
IV-F.2. Le type d'hypertonie et d'atteinte cérébrale .....	72
IV-F.3. Le stade GMFCS.....	73
IV-F.4. Autres critères de sélection moteurs dans la littérature .....	74
IV-F.5. La déficience intellectuelle.....	74
IV-F.6. L'âge .....	75
IV-G. Perspectives d'études et de suivi.....	76
IV-G.1. Besoins évoqués par les différentes équipes .....	76
IV-G.2. Echelles suggérées.....	77
CONCLUSIONS .....	81
ANNEXES .....	83
A. Echelles utilisées .....	83
B. Rappel physiopathologique sur la spasticité.....	86
C. Evolution technique de la RPF .....	89
D. Rééducation post-opératoire.....	90
E. Tableaux récapitulatifs des données de la littérature .....	91
F. Place de la RPF dans la chronologie de la prise en charge de la spasticité selon Georgiadis. ....	99
G. RPF et pompe à BACLOFENE intra-thécal (IBP).....	100
H. Proposition de suivi (à adapter en fonction du niveau de départ et des objectifs).....	101
I. Approximation GMFCS effectuées dans la partie discussion.....	104
BIBLIOGRAPHIE .....	105

## LISTE DES ABREVIATIONS

BUD	BILAN URODYNAMIQUE
DRAPs	Dorsal Root Action Potential
EMG	EMG
FAQ	Gillette Functional Assesment Questionnaire
GAS	GAS
GMFCS	Gross Motor Functional Scale
GMFM	Gross Motor Functional Measure
IBP	Intrathecal BACLOFENE Pump
IDE	Indice de Dépense Energétique
MACS	Manual Ability Classification System
mAS	modified Asworth Scale
MIF-môme	Mesure d'Indépendance Fonctionnelle pour l'enfant
NHS	National Health Service
PC	Paralysie Cérébrale
PCI	Physical Cost Index
PEDI	PEDI
RCP	Réunion de Concertation Pluri-disciplinaire
RPF	Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle
SA	Semaine d'Aménorrhée
SpA	Sphincter Anal
STC	Score Total Cible

## I-INTRODUCTION

### I-A. La Paralyse Cérébrale (PC).

#### I-A.1. Définition

La définition la plus utilisée dans les réseaux de surveillance de la paralysie cérébrale (PC) est celle du réseau européen de surveillance de la PC (SCPE, Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (1)):

*“CP is a group of disorders i.e. it is an umbrella term; it is permanent but not unchanging; it involves a disorder of movement and/or posture and of motor function; it is due to a non-progressive interference/lesion/abnormality; this interference/lesion/abnormality is in the developing/immature brain.” (2)*

« La paralysie cérébrale est un terme générique pour désigner un ensemble de troubles ; permanents mais non immuables, qui comprend des anomalies du mouvement et/ou de la posture et des fonctions motrices ; qui est dû à des anomalies/des lésions/interférence sur un cerveau en développement/immature. » (2)

Plus récemment, la PC a été redéfinie par Rosenbaum (1) comme un ensemble de troubles du développement du mouvement et de la posture, responsables de limitations d'activités, et causés par des atteintes non progressives survenues lors du développement du cerveau chez le fœtus ou le nourrisson. Les troubles moteurs de la PC sont souvent accompagnés de troubles sensoriels, perceptifs, cognitifs, de trouble de la communication et du comportement, d'une épilepsie et de problèmes musculosquelettiques secondaires (3).

Rosenbaum propose de classer les enfants PC en prenant en compte les troubles moteurs (troubles du tonus et mouvements anormaux, capacités motrices) ; les troubles associés, la topographie de l'atteinte et les lésions neuroanatomiques (imagerie), l'étiologie et l'âge de survenue de l'atteinte neurologique (avant 2 ans en France, et avant 1-5 ans selon les pays).

#### I-A.2. Epidémiologie de la paralysie cérébrale en France et dans le monde.

##### Prévalence :

Il existe près de 40 registres de surveillance de la paralysie cérébrale dans le monde (dont le premier date de 1950). Le premier recueil de grande envergure a été initié en Europe en 1998 (SCPE Surveillance of Cerebral Palsy in Europe) (1) .

La PC concerne 1.77/1000 naissances en Europe (4). A l'échelle mondiale, Park rapporte 1.8-2.3/1000 habitants (5) (en Suède : 1.96/1000 (6), aux USA : 3.1/1000) (7), et au Canada : 2.2/1000 enfants de 5 ans).

##### Facteurs de risque :

Le sex ratio est en défaveur des garçons (8).

La prématurité concerne 35 à 46% des enfants PC (6,9) (dont 14% de grossesses multiples). (Figure 1). Les grossesses multiples et les poids de naissances extrêmes sont aussi des facteurs de risque de paralysie cérébrale (4,10).

Les facteurs socio-économiques et l'âge maternel sont débattus (4,10). (8)).



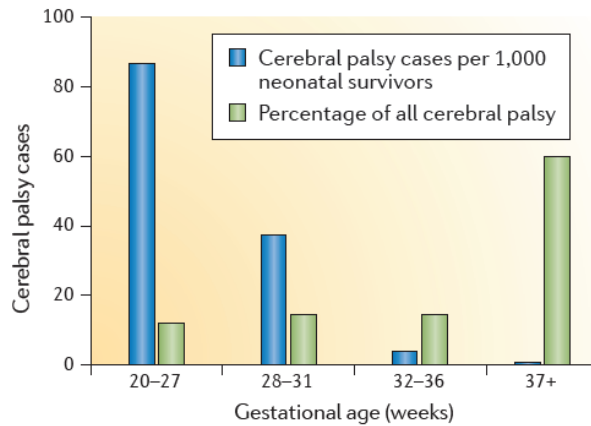


Figure 1 : Association entre l'âge gestationnel et la prévalence de la PC (nombre d'enfants PC/100 naissances). Extrait de Graham 2016 (11)

### Etiologie :

Quarante-deux pourcent des PC sont de causes périnatales (AVC, choc néonatal, œdème cérébral, encéphalopathie anoxo-ischémique chez les enfants nés après 34 semaines d'aménorrhée (SA), ictère nucléaire) - ou néo-natale (infection intra-utérine, AVC, hydrocéphalie, atrophie périventriculaire ou porencéphalie pour les enfants nés après 34 SA) (12). Pour Cans, les infections seraient responsables de 50% des PC, suivies pas les AVC (20%) puis par les lésions cérébrales (8%) (9). Les étiologies postnatales sont associées avec un handicap plus sévère selon l'auteur. Dans 21% des cas l'origine de la PC demeure inconnue (12).

### Evolution épidémiologique :

En Europe, la prévalence de la PC a tendance à diminuer de 0.7% par an (1.90->1.77/1000 naissances/an) notamment pour les poids de naissance très petits à modérément bas (1.5 à 2.5 kg). La prévalence reste stable pour les poids de naissance normaux et extrêmement bas. (4,11)

Le dernier bulletin du Registre des Handicaps de l'Enfant et Observatoire Périnatal- 2017 (RHEOP) (13) montre cependant une augmentation du taux de handicap sévère en Isère, Savoie et Haute-Savoie passant de 8 à 9.5/1000 enfants dont 2.5 – 3/1000 naissance de handicap moteur (Figure 2). Cette augmentation pourrait être due à l'augmentation du repérage des enfants porteurs de troubles autistiques.

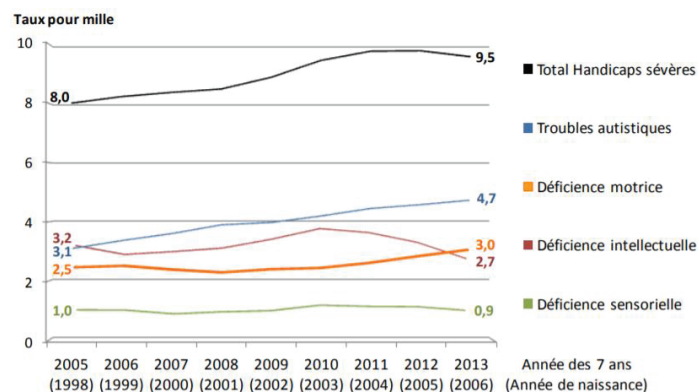


Figure 2 : Prévalence des déficiences neurodéveloppementales sévères en Isère, Savoie et Haute-Savoie de 2005 à 2013. Extrait du bulletin du RHEOP 2017(13)

### I-A.3. Pronostic fonctionnel dans la PC

Les auteurs rapportent une détérioration de leur marche pour 45 – 52% des enfants PC (14,15), à partir de 7 ans et surtout entre 20 et 40 ans (14,16) et majoritairement chez ceux présentant une atteinte bilatérale. Le déclin des fonctions motrices dépend aussi du niveau de déambulation de départ : il avait été noté sur une cohorte de 7550 patients, que les enfants ayant une marche difficile et qui utilisaient occasionnellement un fauteuil roulant manuel étaient plus à risque de perdre leurs capacités de marche alors que les enfants marchant seuls plus de 6 mètres avec un bon équilibre avaient plus de chance de garder leurs capacités fonctionnelles, voire même de s'améliorer durant l'adolescence (17).

Les causes de ce déclin mises en avant sont le déséquilibre entre la demande environnementale et les capacités du patient à l'âge adulte, la croissance, l'augmentation du coût énergétique de la marche qui est favorisée par les enraidissements articulaires, les raideurs musculaires, les troubles de la statique rachidienne (18). De plus, la fatigue est plus fréquente chez les adultes PC que chez les adultes ordinaires (14) et les atteintes articulaires et les douleurs sont des raisons habituelles d'arrêt de la marche indépendante durant la vie des PC après l'âge de 25 ans (18).

Tosi parle de vieillissement prématuré : perte de force musculaire, diminution de l'endurance, douleurs musculaires et articulaires sont rapportées dès la grande enfance et au début de l'âge adulte (19) et mise sur le compte de la spasticité (20). Selon Park, si la spasticité n'est pas prise en charge, les capacités fonctionnelles des paralysés cérébraux continuent de se détériorer et ils peuvent perdre la marche à l'âge de 50 ans (21).

### I-A.4. PC et scores d'évaluation fonctionnelle

#### I-A.4.a. Stades de Palisano - Gross Motor Functional Scale (GMFCS)

Le système de classification de la fonction motrice globale pour la Paralyse Cérébrale (GMFCS) est basé sur les mouvements volontaires et met l'accent sur la station assise, les transferts et la mobilité. Cette échelle, décrite initialement par Palisano, a fait l'objet d'un travail de validation continue sur plusieurs années, et a montré sa reproductibilité inter-observateurs et à travers le temps (3).

Elle distingue les enfants en fonction de leurs capacités de posture et de déplacement selon 4 classes d'âge (1-2 ans, 2-4 ans, 4-6 ans, 6-12 ans) et dans les lieux de vie habituels de l'enfant (et non sur les meilleures performances).

Elle sépare 5 stades, du stade I qui représentent les enfants PC peu dépendants au stade V pour les enfants complètement dépendants sur le plan moteur (22). Dans sa version étendue cette échelle concerne également la population PC de 12 à 18 ans (GMFCS - E & R ©2007 (23), cf. Annexe A Figure 1).

#### I-A.4.b. Gillette Functional assesment questionnaire (FAQ)

Il existe d'autres scores fonctionnels moins utilisés mais plus représentatifs des capacités de déplacement en milieu écologique comme celui de l'échelle de marche du questionnaire d'évaluation fonctionnelle de Gillette (Functional Assessment Questionnaire (FAQ)). Il s'agit d'une échelle descriptive correspondant à une partie de cet auto-questionnaire utilisé depuis 1994 pour les sujets évalués au laboratoire d'analyse de la marche du Gillette Children's Hospital.

Il comporte dix niveaux (du niveau 1 pour les enfants les plus dépendants au niveau 10 pour les plus indépendants) qui évaluent les capacités habituelles de marche du sujet en intérieur et en extérieur.

(cf. Annexe A Figure 2). La classification du sujet ne prend pas en compte l'utilisation éventuelle d'aides techniques de marche. La fiabilité et la validité de cette échelle ont été évaluées uniquement sur des enfants de niveau 6 à 10 ans (24).

#### I-A.4.c. Gross Motor Functional Measure (GMFM) ou Evaluation Motrice Fonctionnelle Globale

L'évaluation motrice fonctionnelle globale conçue par Russell (25) comprend 88 items répartis en 5 dimensions qui peuvent être analysés séparément :

- A : couché et retournements,
- B : position assise,
- C : ramper, quatre pattes et à genoux dressés,
- D : station debout,
- E : marche, course, saut.

Chaque item est coté de 0 à 3 (« n'ébauche pas » à « accompli »). Le 100% correspond aux capacités motrices d'un enfant ordinaire de 5 ans. Chaque dimension a le même poids *statistique* et est rapporté sur 100. Un score cible total est calculé pour chaque enfant comme la moyenne des dimensions sélectionnées selon son âge, son statut fonctionnel et les zones d'intérêt (A, B, C, D et/ou E).

Palisano et Rosenbaum ont montré, sur de larges cohortes, une corrélation entre les niveaux GMFCS et les score GMFM 88 et 66 respectivement. (Figure 3). (22,26). Hanna, Rosenbaum et al. ont ensuite ajouté à ces courbes les percentiles de référence de GMFM pour chaque stade GMFCS (n=650) (27).

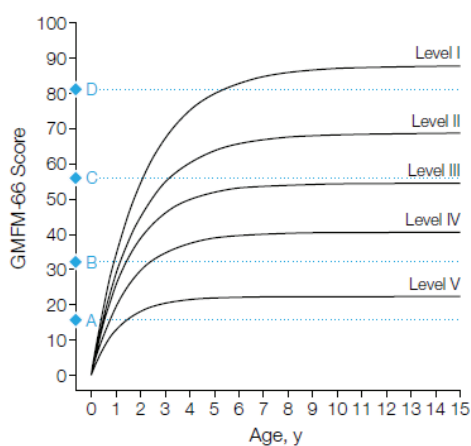


Figure 3 : Courbe prédictive d'évolution de la GMFM 66, par niveau GMFCS. Extrait de Rosenbaum 2002. Les différents items de la GMFM 66 sont figuré en bleu. (26)



#### I-A.4.d. Indice de Dépense Énergétique (IDE)

La mesure de l'IDE permet d'évaluer le coût énergétique de la marche, qui augmenterait avec les contraintes musculaires dues à la spasticité (28,29).

La mesure de l'IDE (30,31) nécessite que l'enfant marche, chaussé, sur un parcours circulaire dessiné au sol, à vitesse spontanée et régulière, pendant 5 minutes. L'enfant porte un cardiofréquencemètre restituant la fréquence cardiaque (FC) toutes les 5 secondes durant la dernière minute. La FC moyenne sur la dernière minute est rapportée à la vitesse de marche :

$$\text{IDE (sans unité)} = \frac{\text{FC moyenne à la 5}^{\text{ème}} \text{ minute (battements/min)}}{\text{vitesse de marche (m/min)}}$$

L'IDE est un reflet du coût énergétique métabolique de la marche, plus simple que la mesure de la consommation en oxygène et repose sur la relation linéaire entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène (32,33). Toute variation de  $\pm 0.2 \times \text{IDE}$  de référence est significative (31).

#### I-B. La spasticité

Elle est la première indication des RPF (94% des publications relevées (34,35)).

##### I-B.1. Définition

La spasticité a longtemps été définie comme « une augmentation vitesse-dépendante des réflexes toniques d'étirement accompagnée d'une exagération des réflexes ostéotendineux (Figure 7), résultant d'une hyperexcitabilité du réflexe d'étirement, considérée comme une composante du syndrome pyramidal » (36). Delwaide ajoute à cette définition l'atteinte préférentielle de certains muscles (muscles posturaux fléchisseurs aux membres inférieurs et extenseurs aux membres supérieurs) et des données physiopathologiques : « La spasticité résulte de l'hyperexcitabilité de la voie la vers les motoneurones, associée à un traitement anormal du niveau spinal d'autres afférences périphériques » (37). Un rappel physiopathologique est proposé en [Annexe B](#).

##### I-B.2. Spasticité dans la paralysie cérébrale

Dans la paralysie cérébrale (PC), la spasticité est le désordre moteur principal (11) et le plus pourvoyeur de déficiences motrices. Elle apparaît vers l'âge de 1 an et augmenterait jusqu'à 5 ans (38) puis déclinerait jusqu'à l'âge de 15 ans (38% d'enfants spastiques à 5 ans contre 22% à 15 ans dans cette même étude). La diminution des injections de toxine botulique avec l'âge sont le reflet de cette évolution (les injections seraient plus fréquentes entre 4-6 ans (26)).

##### I-B.3. Evaluation de la spasticité

L'échelle d'Ashworth (mAS, modified Asworth Scale) utilisée aujourd'hui dans sa version modifiée par Bohannon, a été mise au point pour évaluer l'effet d'un traitement anti-spastique chez des patients atteints de sclérose en plaque (39). Il s'agit de l'échelle la plus utilisée en pratique quotidienne et dans la littérature scientifique (2761 citations selon Web Of Science). Sa variabilité intra-juge est correcte au membre supérieur (mais beaucoup moins au niveau de la cheville et du genou). Sa variabilité inter-juge ne l'est pas. La forme modifiée de cette échelle a une meilleure sensibilité (39,40).

L'échelle de Tardieu (41), plus précise, prenant en compte la vitesse d'étirement et ayant une meilleure variabilité inter-juge que l'échelle d'Ashworth est plus complexe à utiliser et est, de fait, moins disponible dans nos dossiers cliniques.

#### I-B.4. Déformations orthopédiques induites par la spasticité

La spasticité entraîne sur le long terme des rétractions tendino-musculaires, des torsions osseuses et des déformations articulaires irréversibles (42).

Les déformations orthopédiques les plus fréquentes sont :

- l'excentration de hanche (liée à l'hypertonie des adducteurs),
- l'hyper-antétorsion fémorale,
- le flexum de hanche,
- l'ascension rotulienne,
- le recurvatum de genou,
- la torsion tibiale externe excessive (ou plus rarement l'hypotorsion tibiale liée à un pied en varus adductus),
- les déformations des pieds (en varus adductus, valgus abductus, pied équin ou talus, hallux valgus et griffe d'orteils),
- les bassins obliques et les déformations rachidiennes (scolioses, cyphoses et lordoses),
- les inégalités de longueur des membres inférieurs (43).

#### I-B.5. Prise en charge thérapeutique de la spasticité.

Actuellement, le traitement de première intention est la toxine botulique (44) qui bloque la libération présynaptique de l'acétylcholine à la jonction neuro-musculaire, en se fixant notamment sur les récepteurs des motoneurons du système nerveux périphérique sans les détruire. La kinésithérapie, des attelles ou des plâtres de postures sont fréquemment utilisés seuls ou en complément des injections de toxine botulique.

Les traitements par voie orale tel que le VALIUM, le BACLOFENE, la TIZANIDINE et le DANTROLENE sont un choix de seconde intention (45,46). En effet, s'ils réduisent efficacement le tonus musculaire (47), ils n'améliorent pas nécessairement la fonction motrice (37,48–50) et entraînent sédation, fatigabilité, somnolence et une inhibition de la plasticité cérébrale (37,48–50). Aussi leur innocuité sur le développement cérébral de l'enfant n'a pas été démontrée.

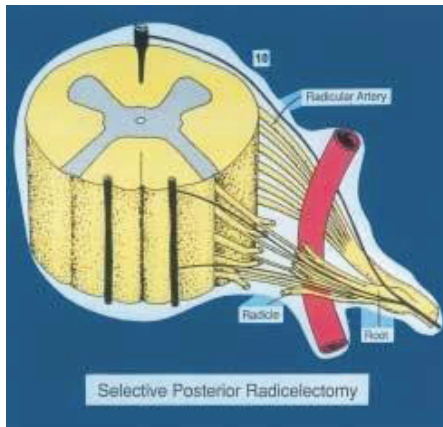
Les neurolyses par alcoolisation ou phénolisation sont moins utilisées, réservées chez l'enfant à de rares indications trophiques et de confort. (46,51)

Enfin, peuvent être discutées des approches chirurgicales telles que la pose d'une pompe à BACLOFENE intrathécale, la DREZotomie (lésions de la zone d'entrée médullaire des racines dorsales - Dorsal Root Entry Zone - privilégiée pour les enfants sans objectif d'amélioration fonctionnelle et présentant une spasticité douloureuse) et la Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle (Figure 9 et 10).

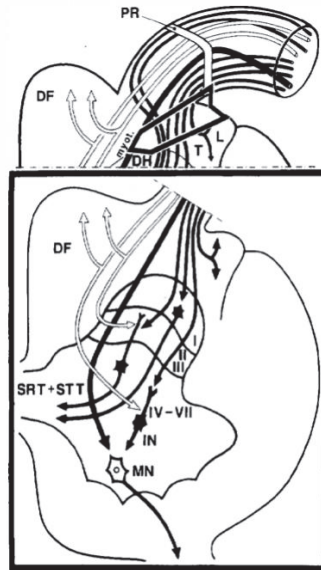
Les rhizotomies ventrales, les myélotomies longitudinales et les cordectomies ne sont plus pratiquées (37).

### I-C. La RPF (rhizotomie dorsale sélective ou radicotomie postérieure fonctionnelle)

La RPF est une section partielle d'une ou plusieurs racines dorsales, en amont du ganglion rachidien, proposée, chez l'enfant PC dans les spasticité diffuses des membres inférieurs en alternative à la pompe à BACLOFENE.



Représentation schématique de la RPF  
Figure 4 - Extrait de Salame 2003 (52)



Représentation schématique de la DREZotomie  
Figure 5- Extrait de Sindou 1991(53)

#### I-C.1. Historique (Enslin 2018)

La première RPF décrite date de 1880, et a été réalisée par Abbe à visée antalgique. Plusieurs chirurgiens (Bennett (54), Sherrington 1898) remarquent une diminution de la spasticité post-opératoire (37) et Foerster réalise la première rhizotomie à visée anti-spastique chez l'humain en 1908. Du fait des complications post-opératoires (hypoesthésie épicrotique et proprioceptive, déficit moteur, troubles trophiques, dénervation vésicales) la technique a été abandonnée pendant plusieurs décennies. A partir de 1976, la RPF est réintroduite par Gros (Montpellier) et subira plusieurs modifications (55) qui sont détaillées en Annexe C.

Aujourd'hui la Rhizotomie Postérieure est pratiquée dans plusieurs centres en France aux Etats-Unis, en Allemagne et en Angleterre. (56)

#### I-C.2. Sur le plan physiopathologique,

Selon Sherrington, la RPF agirait par interruption des réflexes monosynaptiques d'étirement et des réflexes polysynaptiques de défense. La section partielle des racines dorsales diminuerait le signal excitateur afférent qui est hyperactivé par défaut d'inhibition de la voie pyramidale et qui serait à l'origine, pour partie, de la réponse motrice exagérée observée dans la spasticité.

Cependant la spasticité explique partiellement les déficiences fonctionnelles motrices et les auteurs s'accordent pour dire qu'une meilleure compréhension des effets fonctionnels de la RPF serait nécessaire (57).

#### I-C.3. Les objectifs de la chirurgie

Les objectifs de la chirurgie varient selon le niveau fonctionnel (stade GMFCS) de l'enfant :

- Pour les niveaux neuromoteurs II, III et certains stades IV : obtenir, d'améliorer ou conserver une marche avec ou sans aide technique et retarder, voire éviter une chirurgie orthopédique correctrice.
- Pour les niveaux neuromoteurs IV et V : antalgie, facilitation des soins de nursing, facilitation de l'installation au fauteuil et des transferts, prévention orthopédique.

#### I-C.4. Evaluation pré-opératoire

Cette évaluation s'appuie sur des bilans spécifiques analytiques et fonctionnels réalisés par le médecin rééducateur et le kinésithérapeute :

- Bilan médical afin de préciser la gêne fonctionnelle, l'existence de douleurs diurnes ou nocturnes, de crampes, d'évaluer les déficiences vésico-sphinctériennes et si besoin d'envisager un bilan spécifique avec une échographie des reins et de l'arbre urinaire complété si nécessaire d'un bilan urodynamique.
- Bilan clinique neuro-orthopédique : mesure des amplitudes articulaires (angle de 1ère tension-amplitude résiduelle), évaluation de la spasticité (mAS), évaluation de la sélectivité de la commande motrice (CMS : contrôle moteur sélectif), évaluation de la force musculaire des agonistes et des antagonistes, mesure des paramètres osseux (antétorsion fémorale, torsion tibiale, ascension rotulienne).
- Bilan radiographique du rachis afin de vérifier l'absence de malformation osseuse congénitale ou la présence d'une déformation préexistante de type scoliose ou cyphose au niveau de la charnière dorso-lombaire. Si possible, une IRM est réalisée pour préciser la hauteur du cône médullaire.
- Bilans fonctionnels : EMFG, GMFCS, Functional Movement Screen (FMS), FAQ de Gillette, indice de dépense énergétique (IDE)
- Bilan vidéo : de la marche ou de la déambulation ou du niveau moteur sur tapis de marche.
- Bilan électromyographique (EMG) et vidéographique de la marche : l'EMG de surface est plus adapté pour ce type de patient car plus facilement réalisable que l'AQM (analyse quantifiée de la marche) compte tenu de leur jeune âge. L'EMG vidéo vise à rechercher les anomalies de timing lors de la marche qui peuvent être liées à la spasticité.

L'indication chirurgicale est posée à l'issue d'une consultation multidisciplinaire réunissant l'enfant, les parents, les neurochirurgiens, le médecin rééducateur, une infirmière, les kinésithérapeutes. Les objectifs de la chirurgie sont repris et précisés, le neurochirurgien explique la technique chirurgicale de la RPF, les avantages et les risques (51) .

Dès que la chirurgie est programmée, une consultation auprès du neuropédiatre du service est organisée afin de reprendre avec les parents et l'enfant les diverses informations données, de bien préciser le déroulement de la rééducation post-opératoire, de soutenir l'adaptation de l'organisation familiale post-opératoire. Les parents et l'enfant sont informés sur les risques de douleurs aiguës et à distance, en particulier de douleurs neuropathiques.

A l'issue de la réunion de concertation pluri-disciplinaire (RCP) un premier graphique préopératoire est réalisé.

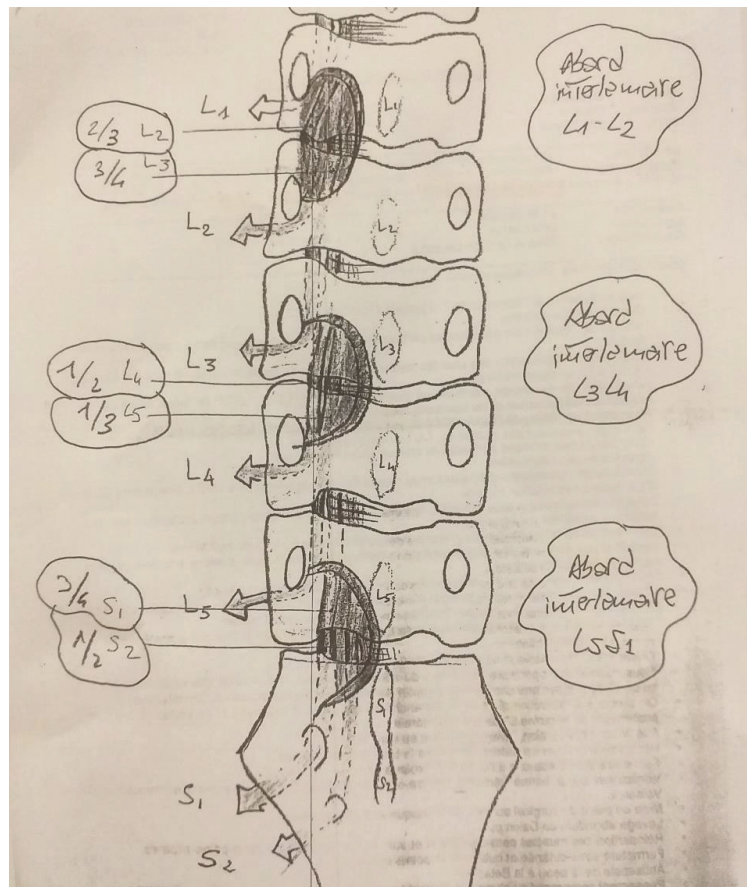


Figure 6 : Exemple de schéma pré-opératoire utilisé pour cibler les racines en fonction du niveau vertébral (et des indications musculaires associés à ces racines). Les carrés gris représentent les abords inter-lamaires qui peuvent être effectués – Pr SINDOU



## II- MATERIEL ET METHODE

Il s'agit d'une étude monocentrique rétrospective réalisée à partir de 38 patients opérés à l'Hôpital Wertheimer des Hospices Civils de Lyon, par deux neurochirurgiens, et pris en charge dans les suites au Centre Médico-Chirurgical des Massues de 1991 à 2018.

### II-A. Critères d'inclusions

- Enfants paralysés cérébraux de niveau GMFCS III à V et présentant une diplégie spastique ou une quadriplégie spastique ;
- Agés de plus de 2 ans mais avant le pic pubertaire ;
- Ayant la possibilité d'effectuer un séjour de rééducation intensive dans les suites de la RPF.
- Ayant bénéficié RPF avant 2017 et d'évaluation neuromotrice régulières dans les 3 ans suivant le geste ;
- Les atteintes mixtes (dystonique et spastique) n'étaient pas les indications privilégiées mais n'étaient pas un critère d'exclusion ;
- Les déformations rachidiennes préexistantes n'étaient pas une contre-indication mais faisaient l'objet d'une surveillance accrue et de précautions chirurgicales ;
- Le déficit intellectuel n'était pas une limite.

### II-B. Critère d'exclusion

- Autres pathologies, notamment AVC et pathologies évolutives, refus de participer.

### II-C. Mesure éthique et refus

Les patients ou leur représentants légaux ont été informés par courrier de l'étude, nous n'avons reçu qu'un refus de l'utilisation des données cliniques parmi les 38 sujets. L'étude a été approuvée par le comité d'éthique des Hospices Civils de Lyon.

### II-D. Intervention

#### II-D.1. Voie d'abord effectuée

Sous anesthésie générale sans curare (REMIFENTANYL, KETAMINE), les patients sont installés en décubitus ventral sur gélatine ([Figure 11](#)). Un repérage radiographique permet de repérer le niveau rachidien ciblé. L'aponévrose lombaire et les masses paravertébrales sont réclinées puis deux voies d'abord peuvent être effectuées :

- une laminoplastie monobloc de L1 à S2, créant un volet multi-lamaire qui est remis en place et solidement resuturé aux moignons des lames et aux articulaires, permettant d'identifier précisément les niveaux topographiques des racines (58) ;
- un abord interlamaire élargi par égrugeage du bord des lames adjacentes bilatérales (*ou KIDr : keyhole interlaminar dorsal rhizotomy*) en respectant les massifs articulaires et leurs capsules et en gardant les processus épineux et les ligaments interépineux (ouverture de 2.5cm au 2/3 de lame sup et 3/4 de lame inférieure), rendant le repérage radiculaire plus difficile mais qui est privilégié pour les enfants à risque de complication rachidienne.

Les niveaux sont déterminés en fonction du plan préopératoire ([Figure 10](#)).



Figure 7 : Installation du patient, les électrodes de monitoring électrophysiologique sont visibles

#### II-D.2. Plan de section

Un premier graphique pré-opératoire est réalisé par le neurochirurgien, en lien avec les rééducateurs, prenant en compte la description clinique de la spasticité, l'énumération des muscles dont la spasticité est délétère, la désignation des racines nerveuses supposées les innerver selon les données anatomiques actuelles (59) et une estimation du pourcentage de section pour chaque racine ciblée. Les racines innervant les muscles dont la spasticité ou la motricité doit être préservées (muscle antigravitaires, détroisseur, sphincters anal et vésical) sont notées pour être épargnées.

Ce plan est révisé après une deuxième cartographie per-opératoire :

Après ouverture de la dure-mère et exposition des racines cibles ventrales et dorsales, celles-ci sont séparées l'une de l'autre sur 5-10 mm (pour minimiser les manipulations et préserver les propriétés conductrices).

Cartographie anatomique : Sous microscope opératoire les racines ventrales sont stimulées (stimulation orthodromique bi- ou tri-polaire, Nimbus, 0.2- 0.5 mA, 2Hz, distance interpolaire de 4 mm +/-1mm) afin de confirmer leur niveau topographique (60) confirmé par les réponses musculaires évaluées cliniquement (kinésithérapeute présent lors du geste) et à l'EMG de détection (électrodes fichées dans les muscles adducteurs, quadriceps, ilio-psoas, ischio-jambiers, triceps sural, tibial postérieur, fessiers, sphincter anal).

Tests physiologiques (Figure 12) : Une stimulation des racines dorsales (stimulation d'ondes carrées bipolaires à 1mA, 50 Hz, de 0.1 msec) permet ensuite d'évaluer le degré d'excitabilité musculaire en sachant que physiologiquement, l'obtention d'une réponse motrice nécessite une intensité au moins 3 fois plus importante lorsque la stimulation est faite au niveau radiculaire dorsal qu'au niveau radiculaire ventral (62).

Sont considérées comme vectrices des arcs reflexes correspondant à la spasticité néfaste, les racines dont la stimulation donne des réponses exagérées, de grade III ou IV selon Peacock (c'est-à-dire une réponse motrice prolongée et diffusant à des niveaux distants du membre inférieur ipsi (grade III) ou controlatéral (grade IV) et ou du membre supérieur ipsi/controlatéral (grade IV)).

Notre équipe stimule la racine entière et non chaque radicelle afin d'éviter un effet de sidération ou une dévascularisation de la racine.

Les racines S2 sont systématiquement stimulées pour confirmer leur topographie radiculaire et leur distribution myotomique afin d'éviter les complications uro-digestives : en cas de réponse motrice au sphincter anal S2 est épargnée.

Les niveaux ciblés étaient L1 à S2 et le pourcentage de section oscillait entre 30 – 85%.

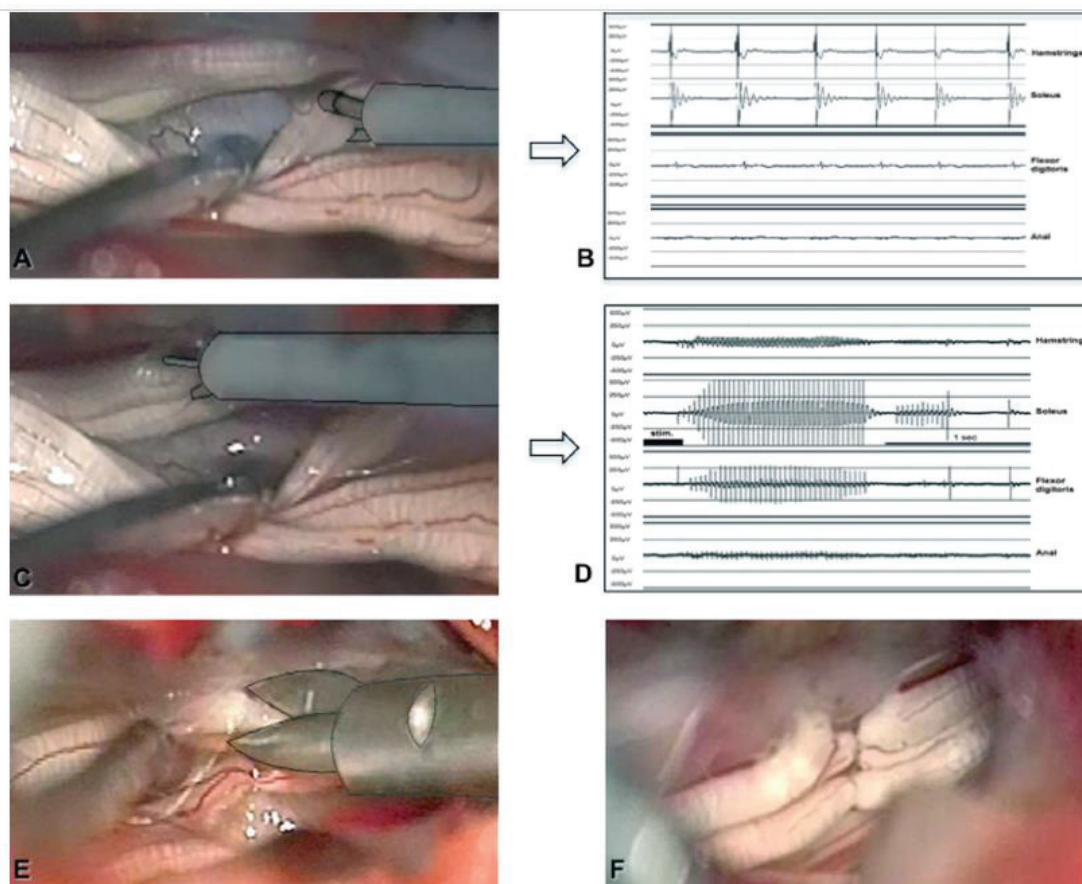


Figure 8 : Monitoring électrophysiologique per-opératoire (vue microscopique). A et B : stimulation d'une racine ventrale et réponse EMG. C et D : Stimulation de la racine dorsale correspondante (en cas de réponse ventrale positive) et réponse EMG. E et F : section partielle de la racine en cas d'hyperexcitabilité à la stimulation électrophysiologique. Extrait de Georgoulis 2018 (60).

### II-D.3. Prise en charge post-opératoire

Un repos en décubitus strict est observé pendant 48h puis la marche peut être reprise et un transfert en rééducation est possible dès J5.

Une rééducation intensive ( $\geq 2h/jour$ , 5 jours/7) en hospitalisation complète était menée sur 5 à 6 mois avec notamment une prise en charge kinésithérapeutique (mobilisation passive, postures d'étirements, verticalisation sur table, orthèses nocturnes, renforcement musculaire), et posturale (confection de posture de nuit suro-pédieuse et/ou en abduction de hanche), la réalisation d'injection de toxine botulique (si nécessaire) et la confection d'appareillage (orthèses anti-équino). Les enfants étaient revus à 6 mois et 1 an par le neurochirurgien et/ou le médecin rééducateur pour un examen neuro-orthopédique. Le port d'une ceinture lombaire n'est pas systématique.

La rééducation proposée dans notre étude diffère par certain aspect (notamment la durée) de celles relevées dans la littérature qui sont détaillée en [Annexe D](#).

### II-E. Evaluation

Les critères de jugement principaux étaient collectés jusqu'à deux ans après la chirurgie. Il s'agissait du stade GMFCS, du stade FAQ de Gillette, des scores GMFM et de l'IDE.

L'évaluation des enfants non marchants ne comprenait que les STC A et B, les autres items n'étant pas réalisables. L'évaluation des enfants marchants concernait surtout les STC D et E s'intéressant à la station de bout, la marche et les activités supérieures de marche

Les critères de jugement secondaires étaient : la réalisation des objectifs fonctionnels préopératoires, les sites et délais d'injections de toxine botulique et de chirurgie orthopédiques avant et après la RPF. Les événements indésirables étaient notés. Nous avons estimé le résultat sur l'objectif en fonction des observations des parents, des médecins, chirurgiens et rééducateurs.

Les données étaient collectées rétrospectivement dans les dossiers médicaux (Centre Médico-Chirurgical des Massues, Hospices Civils de Lyon service de l'Escale, Hôpital Bellevue - Saint-Etienne). Si cette information n'était pas écrite, le stade fonctionnel était évalué rétrospectivement sur les données des observations cliniques et sur l'interrogatoire des kinésithérapeutes/médecins ayant suivi ces enfants (appel téléphoniques, mails).

## II-F. Analyses statistiques

Le logiciel R Commander était utilisé pour les analyses statistiques sur les données fonctionnelles.

Les données continues (GMFM, IDE) étaient exprimées en moyenne et écart-types et les données discrètes (GMFCS et FAQ) en termes de médiane et de percentiles.

Aucune donnée ne suivait de loi normale sur notre échantillon.

Un test de Friedman était utilisé pour les comparaisons des variables intra-individuelle et si celui-ci était positif il était complété par un test des rangs de Wilcoxon.

Pour évaluer s'il existait des facteurs prédictifs de bons résultats, nous avons calculé les coefficients de Pearson pour chaque critère de jugements principaux et pour différentes variables (facteurs influençables : âge au moment de la chirurgie, nombre de racine coupées, pourcentage de section ; et non influençables : sexe, scolarité, topographie de l'atteinte motrice, niveau GMFCS, FAQ et GMFM pré-opératoire).

### III- RESULTATS

#### III-A. Population

38 patients ont été inclus, une patiente a refusé de participer à l'étude.

Neuf filles et 28 garçons ont été opérés à un âge compris entre 4.8 et 12.7 ans, (âge moyen 7.96 ans  $\pm$  2.08) entre 1991 et 2017.

Quatre-vingt-quatre pourcents des enfants étaient prématurés. La prématurité médiane était de 29 SA.

L'étiologie de la PC n'était pas connue pour 62% des enfants. Pour les autres il s'agissait d'anoxies par trouble du rythme (n=4, 10.8%), de toxémies gravidiques (n=3, 8%), de décollements placentaires (n=2, 5%) ou bien de causes plus rares. Onze pourcents des enfants étaient issus d'une grossesse gémellaire.

Le type d'atteinte était majoritairement des quadriplégies spastiques (57%) puis diplégies spastiques (24%) et mixtes (paralysie dystonique + spastique, 19%).

Le niveau GMFCS pré-opératoire était majoritairement III (49%) et IV (41%) ce qui correspond à une marche possible avec aide techniques (en autonomie pour le niveau III ou avec assistance électrique ou humaine pour le niveau IV). Quatre enfants étaient classés GMFCS V (aucun déplacement autonome possible).

Le stade médian du FAQ de Gillette était de 4 (ce qui correspond à une marche de rééducation, lente, en intérieur) avec une prédominance de stade 3 et 5.

La GMFM pré-opératoire moyenne était de 29% (n=26, SD 0.13) pour les scores total cible (STC) D et E (station debout, marche, course et saut) et de 40% (n=9, SD 0.13) pour les STC A et B (retournement et position assise).



Sexe		
Masculin	28	76%
Féminin	9	24%
Age au moment de la RPF		
Age moyen	7,96 ans	SD 2,08
	(4,8-12,7 ans)	

Topographie de l'atteinte		
Diplégie spastique	9	24%
Quadriplégie spastique	21	57%
Paralysie dystonique + spastique	7	19%

Intégration scolaire		
Milieu ordinaire	19	51%
Classe adaptée	11	30%
Non scolarisés	6	16%

Autres traitements de la spasticité reçus avant la RPF		
BACLOFENE	12	32%
Toxine botulique	34	92%
Chirurgie orthopédique correctrice	2	5%

Histoire périnatale		
Prématurité	médiane 29 SA	(27-31)
<28 SA	2	5%
28-32 SA	18	49%
32-36 SA	8	22%
>36 SA ou à terme	9	24%

Etiologies		
Anoxie par trouble du rythme	4	11%
Toxémie gravidique	3	8%
Décollement placentaire	2	5%
Autre causes*	5	14%
Cause non connue	23	62%
Gémellité	4	11%

\* hémorragie du per partum (n=1), syndrome transfuseur-transfusé (n=1), atrophie sous corticale, sus tentorielle et spinale (n=1), hypoplasie vermiennne et du corps calleux (n=1), encéphalite virale ou syndrome d'Aicardi Gouttière (n=1)

Tableau 1 : Caractéristiques de la population étudiée (n=37). SA : semaines d'aménorrhée.

Niveaux fonctionnels pré-opératoire						
GMFCS pré-opératoire		Gillette pré-opératoire				
N à III	18	49%	Gillette 1	6	16%	
N à IV	15	41%	Gillette 2	5	14%	
N à V	4	11%	Gillette 3	7	19%	
IDE moyen (n=14)		5,90	SD 2,47	Gillette 4	4	11%
GMFM pré-opératoire				Gillette 5	7	19%
Moyenne STC AB (n=9)	40%	0,25	Gillette 6	5	14%	
Moyenne STC DE (n=25)	29%	0,13	Gillette 7	3	8%	

Tableau 2 : scores fonctionnels pré-opératoire de la population étudiée.

La durée moyenne de suivi pour les critères de jugement secondaires est de 10 ans (2.1-28 ans).  
Les données manquantes sont réparties selon le Tableau 3.

Données manquantes	N=	%
GMFCS (à 24 mois)	3	8%
FAQ (à 24 mois)	4	11%
EMFG (à 24 mois)	13	34%
IDE	24 en préopératoire	66%
	25 à 24 mois	63%
Compte-rendu opératoire	1	3%

Tableau 3 : Données manquantes sur notre population (n=37).

### III-B. Description de l'intervention

Pour 24 patients la voie d'abord était interlaminar élargie sur 1 à 4 niveaux (majoritairement 2-3 niveaux)

Pour 12 patients la voie d'abord était une laminotomie plastique monobloc (majoritairement L2-L5).

Le niveau, le nombre de racines coupées et le pourcentage de section sont résumés dans le Tableau 4. Les racines les plus coupées étaient L2, L3 et S1. Par enfant, la médiane du nombre de racines coupées était de 8 (quartile (6;8)).

Les sections oscillaient entre 30% et 80% avec une médiane de 50% sur l'ensemble des racines (quartiles 0.6-0.8).

Racines	Nombre de racines coupées sur la cohorte	Médiane de section	Section maximale
L1	2	0%	30%
L2	55	50%	75%
L3	62	60%	75%
L4	44	33%	70%
L5	40	33%	75%
S1	66	60%	80%
S2	8	0%	50%
<b>Toutes</b>	<b>277</b>	<b>50% (0,6-0,8)</b>	<b>80%</b>

Tableau 4 : Répartition des sections radiculaires effectuées sur 277 racines.

### III-C. Critères de jugement principaux

#### III-C.1. GMFCS

Sur la cohorte complète : le GMFCS médian passait de IV à III, dès 6 mois et cette amélioration se maintenait à 2 ans de suivi.

En sous-groupe, on note que :

- La majorité des patients était de stade III (49%) et sont tous restés au stade III à 1 et 2 ans de la chirurgie.

- Seuls les patients initialement de stade IV se sont améliorés et sont devenus stade III. A un an, sur les 9 patients au stade IV avant la chirurgie, 5 passent en stade III après. A 2 ans, 2 patients sont perdus de vue ; sur les 7 patients restants, il y a toujours 5 patients passés au stade II). Cette amélioration était statistiquement significative (Wilcoxon  $p=0.145$  à 6 mois,  $p=0.002$  à 12 mois,  $p=0.006$  à 24 mois) et notée dès 6 mois hormis pour 2 patients dont l'amélioration n'était notée qu'à partir de 12 mois (patients 14 et 21).
- Les 4 enfants de stade V sont restés à ce stade.

Si aucun enfant ne s'est aggravé sur l'échelle GMFCS à 2 ans, on a pu noter une aggravation transitoire à 6 mois pour 1 enfant (passant du stade III à IV à 6 mois, revenant au stade IV à 12 mois), dans un contexte de complications urinaires compromettant la kinésithérapie.

		Post-opératoire : M12			
		III	IV	V	PV
Pré-opératoire :	III	18 (49%)			
	IV	9 (24%)	5 (14%)		1
	V			4 (11%)	

		Post-opératoire : M24			
		III	IV	V	PV
Pré-opératoire :	III	18 (49%)			
	IV	7 (19%)	5 (14%)		2 (5%)
	V			4 (11%)	

Tableau 5 et 6 : Suivi du stade GMFCS à 12 mois (n=37, Wilcoxon SRT  $p<0.005$ ) et à 24 mois (n=35, 2 perdus de vue (PV),  $p=0.0059$  Wilcoxon SRT). PO : pré-opératoire, M12 : à 12 mois, M24 : à 24 mois.

### III-C.2. FAQ de Gillette

Le FAQ était disponible à 24 mois pour 34 enfants.

Dix-neuf ont amélioré leur FAQ soit 57% des 34 enfants suivis à 24 mois avec une médiane qui passait de 4 [2-5] à 6 [1-6] (Friedmann  $p<0.05$ ), [Figure 13](#).

Ceci correspond au passage d'une marche d'intérieur/de rééducation à une marche en extérieur sur 4.5-15m.

L'amélioration se faisait pour la plupart dès le 6<sup>ème</sup> mois (n=18), avec une amélioration médiane du FAQ de 1 points ( Q1 ;Q3= ( 0 ;1) ; Wilcoxon  $p<0.001$ ).

12 patients ont gagné 1 point, 3 ont gagné 2 points, et 3 ont gagné 4 points.

A 1 an il y a une amélioration médiane de 2 points (Q1 ;Q3= ( 0 ;2) Wilcoxon  $p<0.001$ , 2 perdus de vue). Quatre patients ont continué à s'améliorer à 1 an, 4 patients ont commencé à améliorer leur FAQ à 12 mois. Un enfant a progressé de 4 points (de 3 à 7) et 1 autre de 6 points (de 2 à 8).

A 2 ans il y a toujours une amélioration médiane de 2 points (Q1 ;Q3= ( 0 ;2) Wilcoxon  $p<0.001$ , 4 perdus de vue). Cinq patients ont continué à s'améliorer à 2 ans, 2 patients ont commencé à s'améliorer à 24 mois.

Un seul patient s'est aggravé passant d'un FAQ de 2 à 1 à deux ans de suivi dans un contexte de luxation de hanche douloureuse. Cela correspond au passage de quelques pas avec l'aide d'une tierce personne à aucun pas possible. On note une diminution transitoire d'un point du FAQ à 12 mois chez un patient et qui a retrouvé son stade de départ à 24 mois.

Au total, à 24 mois, 51% des 34 enfants étaient améliorés sur le FAQ, 35% restaient au même stade et 3% (n=1) s'étaient dégradés.

En sous-groupe on note que les stades 2, 3 et 4 sont ceux qui s'améliorent le plus (de 1 à 6 points, cf. Tableau 9).

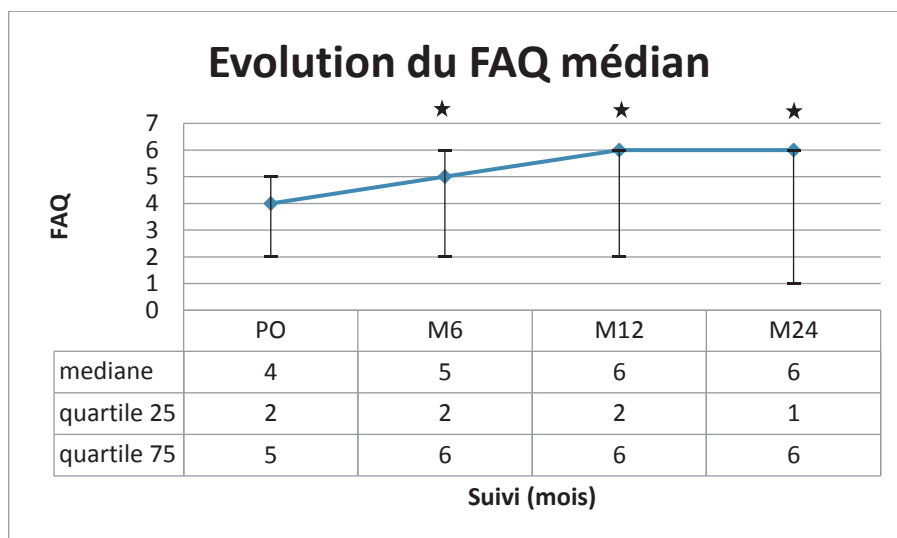


Figure 9 : évolution du FAQ (médiane, n=34)

		Post-opératoire : M24								
		1	2	3	4	5	6	7	8	PV
Pré-opératoire	1	4	1							1
	2	1	1	1					1	1
	3			1	2	2	1			1
	4				0	1	3	1		
	5					2	5			
	6						4	1		
	7							1	1	

Tableau 7 : Suivi du FAQ à 24 mois (n=34, Wilcoxon p<0.001) PO : pré-opératoire, M12 : à 12 mois, M24 : à 24 mois.

### III-C.3. IDE

L'IDE moyen pré-opératoire était de 5.90 (SD 2.46, n=13).

La différence moyenne était de -0.66 (-11%) à 6 mois, -0.37 (-6%) à 12 mois et -1.26 (-21%) à 24 mois mais n'était pas significative. (WSRT à 24 mois p=0.067) (Figure 14).

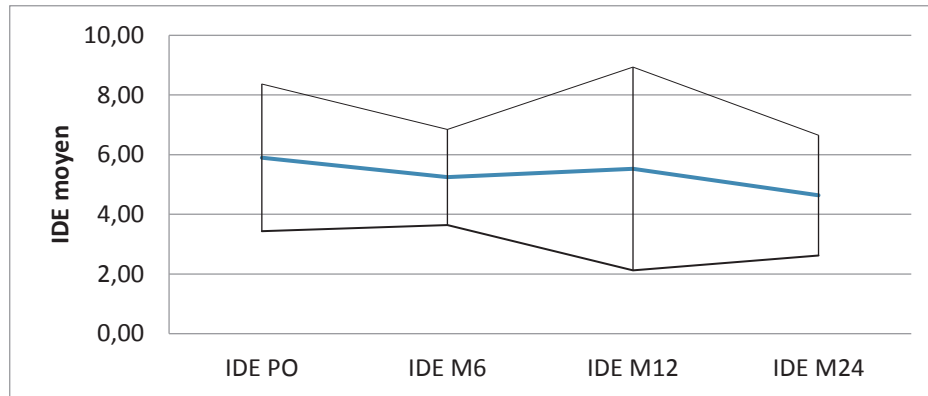


Figure 10 : Evolution de l'IDE moyen (n= 13). Les traits verticaux représentent les écart-types.

Ceci correspond à une diminution du pouls à la marche et/ou à une augmentation de la vitesse de marche.

Si l'on compare les IDE de notre population aux valeurs habituelles décrite par Cristol (31), l'IDE de dix enfants s'est rapproché de la valeur d'IDE normal au même âge. Aucun enfant n'a atteint les normes d'IDE des enfants ordinaires de sa classe d'âge.

Evolution de l'écart à la norme d'IDE pour l'âge à M24	
Diminution de l'écart	Augmentation de l'écart
-6,04	0,35
-4,84	0,82
-2,19	2,11
-1,47	
-0,95	
-0,63	
-0,39	
-0,38	
-0,08*	
-0,04*	

\* données à M12

Tableau 8 : Différence des écarts à la norme d'IDE pré-opératoire (PO) – écart à la norme à 24 mois (M24).



### III-C.4. EMFG

#### III-C.4.a. Pour le Score Total cible D et E (STC DE) :

Les STC D et E étaient disponibles pour 24 patients (Figure 15 -Tableau 14).

A 6 mois il n'y avait pas de différence significative (moyenne des différences à 6 mois de +6.6 points<sup>1</sup>) (SD 0.19 p=0.10 WSRT)

A 1 an on note un gain statistiquement significatif moyen de +9.27 points, (SD 0.13, p=0.006 WSRT).

A 2 ans on note un gain statistiquement significatif moyen de + 8.02 points, (SD 0.13, p=0.009 WSRT).

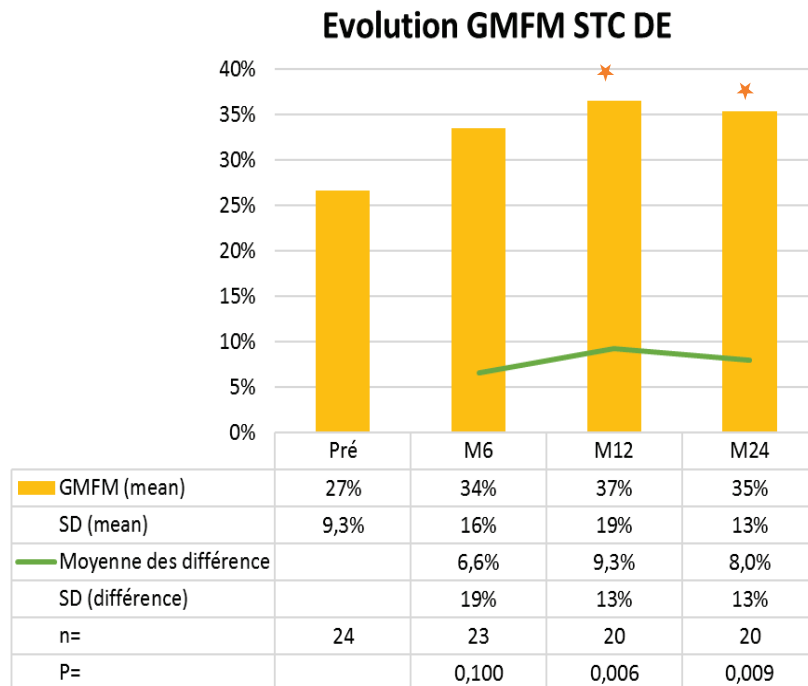


Figure 15-Tableau 14 : Evolution du STC D et E de la GMFM (n=24). SD : écart-type, n= nombre de sujet.

#### III-C.4.b. Pour le Score Total Cible AB (STC AB) :

Le STC AB était évalué pour 9 patients en pré-opératoire. LE STC AB moyen pré-opératoire était de 40% ([15-88%] - SD 0.25, p < 0.05).

A 6 mois, nous disposons des données pour 3 patients : l'amélioration moyenne était de +19% ([11-29] – SD 0.1 – p>0.05).

A 1 an, nous ne disposons de données que pour 1 patient dont le STC AB est passé de 31% à 3%.

A 2 ans, nous ne disposons de données que d'un autre patient dont le STC AB est passé de 65% à 68%.

<sup>1</sup> La GMFM s'exprime en pourcentage comme dans le tableau 9. Cependant par souci de clarté nous exprimons les différence de GMFM avant et après la RPF en points.

### III-D. Analyse en sous-groupes de critères de jugement principaux à 2 ans

#### III-D.1. Evolution du GMFCS

Aucune corrélation statistiquement significative n'a été trouvée entre les facteurs influençables et non influençables et l'évolution du stade GMFCS.

Tous les enfants améliorés (n=9) étaient quadriplégiques spastiques, GMFCS IV, avec un objectif de marche, et tous étaient scolarisés.

Le geste concernait en moyenne 8 racines (4-10), majoritairement de niveau L3L4 pour 5/6 (33-75%), avec une section moyenne de 55%.

#### III-D.2. Evolution du FAQ

Aucune corrélation n'a été trouvée entre les facteurs influençables et non influençables et l'évolution du stade FAQ. On note simplement que la scolarité semble influencer positivement sur le FAQ ( $r=-1.6$  ;  $p=0.075$ ).

Les patients de plus bas niveau fonctionnel (GMFCS V, non scolarisé) et les enfants dystoniques ne progressaient pas sur l'échelle FAQ ce qui semble cohérent avec les objectifs de nursing souvent premiers chez ces enfants.

Les enfants les plus améliorés étaient plus jeunes (6.54 ans d'âge moyen).

L'amélioration semblait inversement proportionnelle au nombre de racines coupées mais pas à la section moyenne (Tableau 10).

FAQ	Terrain	Geste chirurgical	Autres résultats
<b>Non améliorés</b> <b>N=14</b>	Age : 8,01 ans (5,5-12) Sexe : 13 garçons Tous les GMFCS V 7 GMFCS III 3 GMFCS IV 5 dystoniques, 5 DS, 4 QS 4 non scolarisés (sur les 6 non scola.) EMFG 32% FAQ médian 4	N rac= 8,43 (6-10) Sec moy= 54% Niveau L3S1 (57-60%)  Objectif de nursing pour 6 Objectif de marche pour 8	GMFCS : 0 amélioration IDE : -1,77 GMFM : -23% 10/14 complications
<b>Améliorés 1 pts</b> <b>N=12</b>	Age moyen : 8 ans (5-13 ans) Sexe : 6 filles (la plupart des filles : 6/8) 7 GMFCS IV 5 GMFCS III 7 QS, 5 DS Tous scolarisés (5 en milieu adapté) EMFG moyen : 32% FAQ médian : 5	N rac= 7,5 (4-10) Sec moy= 59% Niveau L2L3 (58-64%) Objectif de marche pour 9 Objectif de nursing pour 3	GMFCS : 4 améliorations IDE : -1,14 IDE GMFM : +5% 7/12 complications
<b>Améliorés ≥2 pts</b> <b>N=7</b>	Age moyen : 6,54 ans (4,8-7) Sexe : 6 garçons 5 GMFCS III  2 GMFCS IV  6 DS, 1 QS Tous scolarisés (2 en adapté) EMFG PO moyen : 26% FAQ PO médian : 3	N rac=5,86 (2-9) Sec moy= 54% Niveau S1 (65%) Objectif de marche pour tous	GMFCS : 2 améliorations IDE : -1,9 IDE GMFM : +21% 5 complications
<b>Dégradé</b> <b>N=1</b>	Age : 9,7 ans Sexe : garçon GMFCS V QS non scolarisé FAQ : 2	N rac =8 Sec moy= 56% L2L3L4S1 (50-60%)	GMFCS : stable GMFM : -51% IDE : non renseigné Pas de complication

Tableau 10 : Caractéristique cliniques et de la chirurgie de 34 enfants évalués, en fonction de l'amélioration du FAQ. DS : diplégique spastique, QS : quadriplégique spastique, N rac : nombre de racines coupées, Sec moy : pourcentage moyen de sections effectuées.

### III-D.3. Evolution de la GMFM

Aucun facteur prédictif d'évolution de la GMFM n'a été statistiquement significatif. La scolarité en milieu ordinaire semble être associée à une amélioration supérieure de la GMFM ( $r=-1.8$  ;  $p=0.093$  à 24 mois). La voie d'abord interlaminaire élargie ( $r=-1.7$  ;  $p=0.097$  à la dernière mesure) semble être associée à un meilleur résultat sur la GMFM.

Une plus grande prématurité (29SA >30.5SA) pourrait être associée à un meilleurs résultats de la GMFM (>+10 points d'amélioration) de même que l'atteinte quadriplégie spastique.

Il n'y avait pas de différence selon le GMFCS pré-opératoire.

Il y avait plus d'enfants opérés après 10 ans chez ceux étant restés stable ou ayant dégradé leur GMFM(n=3) que dans le groupe des enfants ayant amélioré leur GMFM (n=1), bien que l'âge moyen de chaque catégorie soit de 8 ans.

#### III-D.4. Evolution de l'IDE

Aucun facteur prédictif d'évolution de l'IDE n'a été statistiquement significatif.  
Aucune corrélation n'a été noté entre l'IDE et les autres scores fonctionnels.

#### III-E. Critères de jugement secondaires

##### III-E.1. Traitements oraux et intra-thécaux de la spasticité

Sur 31 patients (6 données manquantes) :

- 15 (50%) n'avaient aucun traitement oral de la spasticité ni avant ni après la chirurgie.
- 7 (20%) avaient un traitement oral qui a été poursuivi (6 patients sous BACLOFENE et 1 patient sous BACLOFENE + RIVOTRIL modifié après la chirurgie par VALIUM + ARTANE).
- 4 (13%) qui avaient un traitement (par BACLOFENE) avant la chirurgie ont pu l'arrêter.
- 5 (16%) ont débuté un traitement oral de la spasticité pendant l'hospitalisation en rééducation (BACLOFENE n=3, VALIUM n=2).

##### III-E.2. Injections de toxine botulique

Avant la RPF, 34 enfants (89%) recevaient des injections de toxine botulique principalement dans :

- les ischio-jambiers 70%,
- les adducteurs 54 %,
- les graciles 49%,
- les triceps suraux 43%,
- les droit antérieurs 24%,
- les psoas 22%,
- d'autres sites (5% : moyen fessier, petit fessiers, long fléchisseur de l'hallux, long fléchisseur des orteils, paravertébraux).

Après la RPF, les 34 enfants qui recevaient des injections de toxine botulique ont été à nouveau injectés avec un délai moyen de 8.2 mois (SD 9.2 mois ; [18 jours ; 4 ans] : dans les 3 mois pour 10 d'entre eux et dans les 12 mois pour 18 d'entre eux).

Les modifications des sites d'injection concernaient 31/34 patient (91%).

Les sites musculaires réinjectés étaient : les ischio-jambiers 65%, les adducteurs 30 %, les graciles 27%, les triceps suraux 19%, les droit antérieurs 5% et les psoas 5%.

Pour certains patients, tous ces sites ont pu être sevrés d'injections notamment : les droits antérieurs (88% des droits antérieurs ciblés par la RPF ont pu être sevrés de toxine), les psoas (89% des psoas ciblés), les adducteurs (38% des adducteurs ciblés) et dans une moindre mesure les triceps et les ischio-jambiers. De même les petits fessiers ont pu être sevrés de toxine dans 3 cas.

D'autres sites ont été toxinés de novo (+17%) après la RPF surtout petits fessiers (n=5), les ischio-jambiers (n=5), et les psoas.<sup>2</sup>

Deux enfants qui n'avaient jamais été injectés ont reçu des injections de toxine botulique en post-opératoire (sites : extenseur commun des orteils et ischio-jambiers pour l'autre).

### III-E.3. Délai avant une chirurgie orthopédique correctrice

Vingt enfants (54% de la population) ont bénéficié d'une chirurgie orthopédique correctrice, dans les 5.3 ans [1.7-8.6] après la RPF en moyenne, à un âge moyen de 13 ans [9-16 ans].

En moyenne 5 gestes étaient effectués par intervention chirurgicale ([1-11], SD 2.9) avec, dans 12 cas, 1 à 3 geste osseux.

Quatre enfants ont bénéficié d'une seconde intervention chirurgicale orthopédique entre 4 mois et 1.5 ans après la première (ils étaient alors âgés de 12-14 ans), avec à chaque fois un geste osseux (dérotations tibiales, dérotation fémorales, butée de hanche).

Au total il a été réalisé principalement des gestes tendineux (n=65) :

- 12 allongements tendineux des adducteurs (n=12, 60% des opérés, 32% de la population de départ),
- 11 allongements des ischio-jambiers (n=11, 45% des opérés)
- 8 allongements des psoas (n=4, 20%)
- 8 abaissements de rotule (n=6, 30%)
- 5 allongements quadricipitaux (dont 2 avec transferts)
- 6 allongements ou désinsertion des graciles
- 6 allongements des fibulaires
- 5 allongements tricipitaux
- 3 allongements des moyens fessiers, 2 allongements des petits fessiers
- 1 allongement des fléchisseurs commun des orteils, fléchisseur propre de l'hallux et tibial postérieur

Gestes osseux (n=26) :

- 14 interventions fémorale : 9 détorsions fémorales (n=10, 50%), 1 geste de varisation fémorale, 3 corrections de recurvatum, 1 ostéosynthèse distale sur fracture peropératoire
- 6 chirurgies correctrices du pied (Evans, Mosca)
- 4 interventions coxales (3 butées de hanche, 1 prothèse totale de hanche)
- 2 dérotations tibiales

Gestes nerveux : 3 neurotomies (obturatrice interne et branches motrices destinées aux ischio-jambiers et au droit antérieur)

---

<sup>2</sup> Les autres cibles musculaires ajoutées après la RPF étaient : les tibiaux postérieurs (pour 3 patients), les fibulaires, l'ECO (extenseur commun des orteils), l'EPH (extenseur propre de l'hallux), le LFO (long fléchisseur des orteils), le LFH (long fléchisseur de l'hallux), le TA (tibial antérieur), le GF (grand fessier), les paravertébraux et certains muscles des membres supérieurs (pour 1 patients à chaque fois).



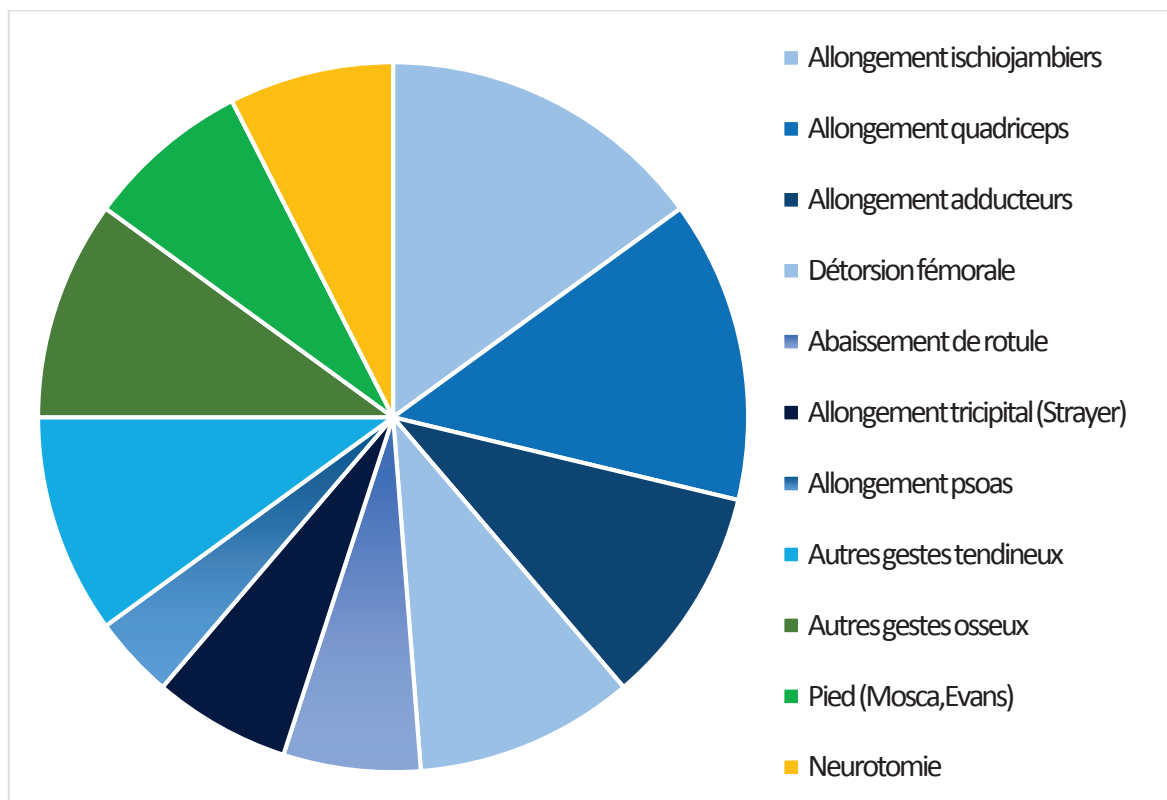


Figure 12 : Répartition des gestes reçus après la RPF (n=20 patients), en bleu : les geste tendineux, en vert : les geste osseux.

#### III-E.4. Les objectifs fonctionnels

Les objectifs fonctionnels ont été majoritairement atteints et sont décrits dans le [Tableau 11](#).

Objectif fonctionnel	Population ciblée	Cibles musculaires	Evolution des scores fonctionnels	Objectif atteint
Marche (n=26)	GMFCS III-IV	ADD, IJ, TS	GMFCS IV->III (n=7) FAQ +1 à +6	88%
Nursing (n=12)	GMFCS IV-V, FAQ 1-3, non scolarisés	ADD, IJ, DA	GMFCS IV->III (n=2) FAQ +1 point (n=2) GMFM STC AB +16-29%	92%
Station assise (n=7)			Aucune amélioration GMFM -10%	100%
Verticalisation, transferts (n=9)	GMFCS III-IV, QS, marchant ou non	ADD, DA	GMFCS IV->III (n=1) FAQ +0.5 GMFM +12% IDE -0.24	100%
Antalgie (n=5)		DA, TS	GMFCS IV->III (n=1) FAQ +0.5 GMFM +7% IDE -0.6	83%
Prévention orthopédique (n=37)	Tous	Tous	Cf. critères de jugement principaux	NE

Tableau 11 : objectifs fonctionnels en fonctions des caractéristiques des patients, des cibles musculaires de la RPF et des résultats des échelles fonctionnelles obtenus. ADD : adducteurs ; IJ : ischio-jambiers ; DA : droit antérieur ; TS : triceps sural ; NE : non évalué (cf. section chirurgie orthopédique).

Les améliorations du schéma de marche décrites sont une marche plus déliée, moins d'adduction, une amélioration de l'extension de hanche et de genoux, une diminution de l'équin. Le quatre-pattes reste la marche privilégiée au domicile pour 2 enfants mais a permis une marche à l'école ou de transfert plus socialement acceptable.

Les soins de nursing étaient facilités par la diminution de l'attitude en ciseaux et de la spasticité du tronc selon les parents.

Les bénéfices notés concernant la station assise étaient : une amélioration du tonus postural permettant un équilibre assis sans les mains (n=3) et une amélioration de l'installation au fauteuil, la tenue de la position sans syncinésies lors des repas (n=4).

Les améliorations décrites concernant la verticalisation étaient : une amélioration de la stabilité et de la tenue de l'orthostatisme, une participation plus active aux transferts avec aide humaine, une meilleure poussée sur les membres inférieurs et une diminution de l'entrecroisement des jambes lors des transferts.

Concernant les douleurs, il était rapporté une diminution des douleurs aux membres inférieurs notamment aux ischio-jambiers (n=3), une diminution des gonalgies à la marche (n=2) et des accès de spasticité douloureuse.

#### III-E.5. Autres effets bénéfiques rapportés

Des effets supra-segmentaires ont été notés chez 5 patients : il s'agissait d'une amélioration de l'ouverture des mains, des capacités de manipulation et pour un enfant de l'état d'éveil de l'alimentation. Les objectifs musculaires chez ces quatre enfants étaient : les psoas et les adducteurs.

Des effets bénéfiques rachidiens et urologiques ont été rapportés et sont décrits dans la section « effets indésirables ».

#### III-F. Effets indésirables

Ils concernaient 25 patients (66%, Tableau 12), parmi lesquels :

- Deux enfants (5%) ont eu des séquelles neurologiques dans les suites de la RPF à type de rétention chronique d'urine nécessitant une cystotomie continente pour l'un et des hétéro-sondages intermittents pour l'autre (Tableau 15 - Discussion).
- Trois enfants ont eu des séquelles rachidiennes à type d'antélisthésis de L4/L5, 1 spondylolyse et 1 cyphose dorsolombaire (Tableau 17 - Discussion).
- Des effets indésirables transitoires (détaillés ci-dessous) ont été rapportés parmi lesquels : des douleurs neuropathiques (18%), des méningocèles (13%), des événements infectieux (11%), un affaiblissement musculaire (13%) et une hyperactivité vésicale transitoire (18%), des rachialgies (8%).

<b>Douleurs</b>	<b>11</b>	<b>29%</b>
Neuropathiques	7	18%
Cicatricielles	2	5%
Lombalgies	2	5%
<b>Hypoesthésies</b>	<b>3</b>	<b>8%</b>
<b>Cicatricielles (non infectieuse)</b>	<b>6</b>	<b>16%</b>
Méningocèle	5	13%
Chéloïde	1	3%
<b>Infectieuse</b>	<b>4</b>	<b>11%</b>
<b>Rachidiennes</b>	<b>8</b>	<b>22%</b>
<b>Urinaire ou sphinctérienne anale</b>	<b>8</b>	<b>22%</b>
Rétention chronique, sévère	2	5%
Aggravation des troubles préexistants	2	5%
Hyperactivité vésicale <i>de novo</i>	4	13%
<b>Affaiblissement musculaire</b>	<b>5</b>	<b>13%</b>
<b>Autres*</b>	<b>4</b>	<b>11%</b>

Tableau 12 : effets indésirables rapportés

\*Troubles vasomoteurs (n=1), myosite ossifiante quadricipitale (n=1), vomissements itératifs et perte de poids (n=1), anxiété, affaiblissement moteur (n=5).

### III-F.1. Concernant l'affaiblissement musculaire

L'affaiblissement est mal caractérisé : il était rapporté une hypotonie axiale, un affaiblissement des membres inférieurs et un affaiblissement des muscles stabilisateurs du bassin pour 5 patients.

Les effets de la RPF étaient globalement bénéfiques pour tous ces enfants affaiblis, bien que transitoires (<=2 ans) pour deux d'entre eux. L'affaiblissement noté dans les observations cliniques n'est pas corrélé à l'évolution des échelles fonctionnelles à 24 mois (puisque 2 patients sont passés de GMFCS IV->III, 4 patients ont amélioré leur FAQ (+1->+3) et 4 leur GMFM et qu'un seul patient a perdu 12points de la GMFM).

### III-F.2. Effets indésirables urologiques

Deux enfants ont présenté des vessies périphériques : l'un a bénéficié d'une dérivation urinaire continente dans l'année suivant la RPF (intervention de Mitrofanoff) et l'autre a dû recourir à des hétéro-sondages intermittents pendant 7 ans.

Les 3 autres enfants étaient continents avant la RPF et ont présenté une hyperactivité vésicale<sup>3</sup> sur des vessies neurologiques préexistantes et ont bénéficié d'une déconnexion pharmacologique par OXYBUTININE. (Discussion-Tableau 15)

Une diminution de la sensation de besoin a été rapportée chez un enfant qui présentait déjà une hyperactivité vésicale avant la RPF.

Un patient a présenté une altération des capacités d'exonération fécale. Avant la RPF il présentait une incontinence urinaire occasionnelle et des pertes de selles à l'effort. En post-opératoire une énurésie est réapparue ainsi qu'une constipation opiniâtre puisque des manœuvres de poussées abdominales étaient encore nécessaires 1 an après la RPF. Le bilan urodynamique pré-opératoire montrait une activité detrusorienne instable du fait des spasmes des membres inférieurs.

Pour ces 7 enfants ayant présenté des complications urologiques transitoires, la chirurgie était jugée bénéfique sur le plan des objectifs fonctionnels.

### III-F.3. Douleurs neuropathiques et dysesthésies

Huit patients ont présenté des douleurs neuropathiques après la chirurgie à type d'allodynies d'une partie d'un membre inférieur (n=6) ou péri-cicatricielle (n=1) (Discussion-Tableau 16). Une patiente prenait du NEURONTIN sans précision sur l'indication. Pour 7 de ces patients les troubles sensitifs régresaient en quelques semaines à 3 ans.

Une hypoesthésie était rapportée pour 3 patients dont deux avec des douleurs neuropathiques.

### III-F.4. Effets indésirables rachidiens

Pour 8 enfants il était noté des douleurs dorsales ou lombaires et des troubles de la statique rachidiennes à type de cyphose dorsolombaire (n=4), de scolioses (n=2), de spondylolisthésis.

Deux patients ont bénéficié d'une arthrodèse rachidienne et 3 d'un corset. (Discussion-Tableau 17).

Des troubles statiques préexistaient chez 6 de ces 8 patients (diastématomyélie, lyse isthmique, cyphoscolioses).

---

<sup>3</sup> Hyperactivité vésicale au sens clinique : pollakiurie, urgenturies, fuites) et non Hyperactivité detrusorienne qui a une définition urodynamique.

## IV- DISCUSSION

### IV-A. Discussion sur nos critères de jugements principaux

#### IV-A.1. GMFCS

##### IV-A.1.a. Choix de l'échelle

La classification GMFCS de Palisano est l'outil de référence indispensable pour décrire d'une population d'enfants paralysés cérébraux (412 citations sur Web of Sciences). Sa reproductibilité inter-évaluateur est excellente (22), qu'ils soient membres de la famille ou professionnels de santé (61) et les différents niveaux de la GMFCS sont corrélés à des différences cliniques significatives, notamment à des différences de GMFM (62).

##### IV-A.1.b. Evolution naturelle du stade GMFCS

En l'absence d'intervention, les niveaux GMFCS restent en moyenne stables dans le temps. Plus précisément, dans l'étude de Palisano, les sous-groupes GMFCS III à IV de 367 patients suivis 33 mois gardent le même niveau GMFCS pour 79% des enfants, 9% s'aggravent (perte d'1 ou 2 niveaux GMFCS) et 11% s'améliorent (d'un ou deux niveau). Sur notre échantillon, pour les sous-groupes III et IV, 76% des enfants restent stables à 2 ans et 24% s'améliorent. Aucun enfant n'a régressé. Il y a donc plus d'amélioration et surtout moins de dégradation dans notre population que dans celle d'enfants non opérés de Palisano, soulignant ainsi l'intérêt de la RPF pour les enfants GMFCS III à IV. En revanche pour le sous-groupe GMFCS V aucun des enfants de notre cohorte n'a amélioré son stade GMFCS contre 1.8% dans la cohorte non opérée de Palisano (Annexe Tableau 19 (63)).

L'âge est à prendre en compte dans l'analyse de nos résultats. Ainsi, selon Tienam (64) les enfants de stade II, III et IV de plus de 6 ans vont probablement changer de mode de locomotion dans les 3-4 ans qui suivent passant par une première phase d'amélioration de la marche (dans les 1-2 ans) puis par une majoration des aides techniques (dans les 3-4 ans de suivi). Ceci pourrait-être le reflet de l'amélioration de la force, de l'endurance, des apprentissages moteurs et de la motivation de l'enfant à imiter ses pairs pour la première phase puis pour la seconde ce serait le résultat de la croissance et de la prise de poids, des déformation orthopédiques et de l'augmentation de la demande environnementale à l'adolescence. Dans notre population, parmi les 7 enfants ayant amélioré leur GMFCS, 3 avaient plus de 8 ans, et devraient donc être dans une phase de perte d'autonomie à la marche. On peut donc supposer que l'amélioration soit due à la RPF, chez ces 3 enfants. Les 4 autres enfants avaient entre 6-8 ans au moment de la RPF ce qui n'exclut pas une amélioration du GMFCS due à l'évolution naturelle et non à la RPF.

##### IV-A.1.c. Evolution du stade GMFCS après une RPF dans la littérature

Plusieurs auteurs (29-34) ont étudié les effets de la RPF à 2 ans. Même si les études n'ont pas utilisé la classification GMFCS, les améliorations du mode de déplacement peuvent être rapprochées des critères d'évaluation des stade de la GMFCS. Il est ainsi retrouvé une une amélioration du stade GMFCS (principalement de V à IV) pour 26% des enfants opérés. Les résultats de ces études sont détaillés en Annexe E. D'autres études (35-37) comparent directement le stade GMFCS et montrent une



amélioration du stade GMFCS (principalement de III à II et II à I) allant de 11 à 69% mais pour les sous-groupes GMFCS V à III cette amélioration concernait 11 à 21% des patients (Annexe E -Tableau 21). Sur le plus long terme (au moins 3 ans), des études (38-44) rapportent une amélioration du stade GMFCS chez 11 à 71% des enfants opérés.

Nous retrouvons une amélioration moins fréquente (19% de notre population) que certaines études. Nos résultats sont peut-être sous-évalués du fait de la proportion importante d'enfants de stade V et III dans notre cohorte (les paliers V->IV et III->II étant plus difficiles à franchir que les paliers IV->III).

#### IV-A.1.d. Echelles corrélées dans la littérature

Il existe une forte corrélation entre la GMFCS et d'autres classifications comme la Manual Ability Classification System (MACS) et la Communication Function Classification System (CFCS) (65) (le niveau GMFCS V correspond à un niveau MACS V), ce qui peut nous laisser espérer qu'une amélioration du stade GMFCS serait accompagnée d'une amélioration des capacités fonctionnelles globales.

Cependant, dans notre population, chez les 6 enfants ayant présenté des améliorations supra-segmentaires, aucune amélioration du stade GMFCS n'a été notée (parmi eux 3 enfants étaient de stade IV).

#### En somme :

- **Il semble que l'amélioration des stade GMFCS notée soit liée à la chirurgie et non à l'évolution motrice naturelle, surtout pour les enfants âgés de plus de 8 ans au moment de la RPF.**
- **La proportion d'enfants améliorés est difficilement comparable à la littérature compte tenu de l'hétérogénéité des populations entre les études mais nous obtenons une amélioration comparable pour les niveaux GMFCS IV.**
- **Nous pouvons espérer une stabilité du stade GMFCS obtenu sur le long terme si l'on en croit les cohortes publiées sur un suivi allant parfois jusqu'à 28 ans après la RPF.**

#### IV-A.2. GMFM

##### IV-A.2.a. Choix de l'échelle

La GMFM est l'instrument de mesure le plus utilisé pour détecter les changements de fonction motrice globale chez les enfants paralysés cérébraux ayant bénéficié d'une RPF (341 citations sur Web of Sciences). Ses qualités métrologiques ont été étudiées par Josenby qui rapporte notamment une grande validité longitudinale (66).

Pour la plupart des patients, seuls les items cibles (A et B ou D et E) étaient recueillis. Ceci pouvait être à l'origine d'un manque de données d'évaluation, notamment si un patient régressait. La rubrique C aurait aussi pu être intéressante puisqu'elle correspond à un mode de déambulation souvent utilisé chez nos patients : le « 4 pattes ». Par exemple, une de nos patientes ne pouvait plus alterner le quatre pattes après la RPF malgré un bon résultat sur la marche en cadre. Pour les enfants ne pouvant pas effectuer les items C, D et E, le STC AB pourrait être un outil de mesure intéressant, que nous n'avons pas trouvé dans la littérature. Malheureusement, nous ne disposons pas de suffisamment de STC AB sur notre échantillon pour conclure.

Enfin, pour les bon marcheurs, la GMFM manque de sensibilité par un effet plafond (43,67).

Sur notre population on note que les meilleures améliorations de GMFM sont obtenues pour un FAQ à 4 alors que les améliorations plus modestes (+3 à +35%) sont obtenues chez les enfants ayant un FAQ à 6. De manière cohérente les GMFM moyens sont plus importants pour les patients les moins améliorés (cf. [Résultats-Tableau 10](#)).

#### IV-A.2.b. Evolution de la GMFM dans la littérature

Dans la littérature nous disposons de 5 essais contrôlés prospectifs (68–70) et d’une étude comparant la RPF à la chirurgie orthopédique (71) sur le moyen terme. Ces travaux montrent une amélioration modérée de la GMFM (+2,3 à +7,4 points<sup>4</sup>) mais significativement différente des groupes contrôles (Annexe E- Tableau 22).

De nombreuses études de cohortes non contrôlées ont été menées et montrent une amélioration du GMFM à 1-2 ans variant de +2 à +9.2 points (à l’exclusion de l’étude de Ailon : +35 points).

De manière notable, deux études évaluant l’évolution de la GMFM sur le long terme ont comparé les GMFM aux percentiles de références (18) palliant ainsi à l’absence de contrôle et montre une amélioration de 0 à 7.6 points par rapport aux percentile de référence (72,73).

Une nouvelle étude prospective, comparant aussi les enfants à leur percentile de référence, a été menée en 2019 par la NHS (National Health Service) au Royaume-Uni (74) afin de valider au niveau national la prise en charge de la spasticité par RPF chez les enfants paralysés cérébraux. 137 enfants ont été suivis à 24 mois et comparés à des enfants paralysés cérébraux non opérés. Un des deux critères de jugement principal était la GMFM 66. Les auteurs rapportent une augmentation de 2.3 points par années sur un suivi de 2 ans.

Pour certains auteurs (75–77) l’amélioration de la GMFM ne se ferait qu’à 12 mois, et le pic d’amélioration se situerait entre 1 et 3 ans après la RPF. L’absence de différence significative à 6 mois, que nous retrouvons également sur notre population, s’expliquerait par la perte de force en post-opératoire immédiat : il faut le temps d’acquérir la force, de nouvelles fonctions et compétences et d’apprendre à les utiliser dans des activités complexes.

#### IV-A.2.c. Echelles corrélées dans la littérature

La GMFM est construite pour mesurer des aspects quantitatifs et non la qualité ni la performance des mouvements et des compétences. Cependant des corrélations à des échelles plus fonctionnelles ont été mises en évidence. Dans une étude coréenne de 2015 , EY Park (78) montre une corrélation forte entre les scores GMFCS et GMFM et la Pediatric Evaluation of Disability Inventory<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Par souci de clarté nous exprimons l’amélioration en valeur absolue de la GMFM en points et non en %.

<sup>5</sup> PEDI : évaluation des performances fonctionnelles motrices et sociales, dépendances au aides techniques et humaines (79).

En 2018, l'auteur (80) a trouvé une forte corrélation entre la GMFM et l'évaluation de la qualité de vie par le Childhood Health Assessment Questionnaire <sup>6</sup>. EY Park en tire un modèle physiopathologique ci-dessous :

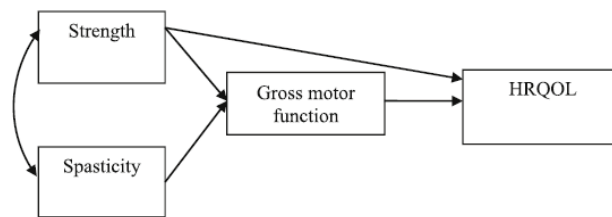


Figure 14 : Proposition d'un modèle physiopathologique. Les flèches montrent les relations entre les variables. HRQOL : Health-Related Quality Of Life. Extrait de EY Park 2018. (80)

Enfin la GMFM 88 est corrélée à la vitesse de marche, surtout la section E, et surtout chez les patients marchant avec une aide technique (67). Elle est de ce fait, un bon reflet des performances de marche.

Cependant aucun minimum de variation de GMFM ne fait consensus en termes de bénéfice clinique et l'interprétations clinique de la taille du changement de GMFM reste hypothétique.

**En somme, il est difficile de comparer nos résultats à la littérature car nous n'avons pas à notre disposition les scores totaux mais uniquement les scores cibles D et E. Cependant les variations de résultats entre les études sont importantes mais 5 études trouvent une amélioration du GMFM de 2 à 7.4 points ce qui correspond à notre ordre de grandeur (+9.3 et +8 points). L'amélioration notée sur notre population est peut-être sous-évaluée en raison d'un effet plafond pour certains de nos patients marchants.**

**L'évolution de nos GMFM corrobore les résultats de Nordmark, Langerak et Tedroff (75–77) qui ne trouvent une amélioration qu'à partir de 12 mois avec un ralentissement de progression de la GMFM dès 24 mois (77,82,83). On pourrait s'attendre à un déclin de la GMFM dans les 5 à 20 ans suivant la RPF.**

**Par ailleurs, l'amélioration de la GMFM laisse espérer une amélioration concomitante des habilités fonctionnelles, de la spasticité et de la vitesse de marche mais l'interprétation de la valeur d'amélioration de la GMFM en terme d'effet reste hasardeuse.**

#### IV-A.3. FAQ de Gillette

##### IV-A.3.a. Choix de l'échelle

Il n'a été validé que pour les enfants classés entre les niveaux 6 et 10 (seuls 8 patients de notre population appartiennent à ces classes) mais reste un instrument couramment utilisé et plus sensible que la classification GMFCS pour évaluer les habilités de marche. Pour preuve, 14 enfants de notre population avaient amélioré leur stade du FAQ sans modification du GMFCS.

---

<sup>6</sup>CHAQ : auto-évaluation incluant des items d'actes de la vie quotidienne et de participation. Les résultats de Park sont corroborés par la NIH la même année : les questionnaires de qualité de vie (PC-QoL) étaient corrélés aux améliorations de la GMFM 66)(81).

#### IV-A.3.b. Evolution du stade GMFCS après une RPF dans la littérature

Sur le court terme : Trost trouve une amélioration du FAQ de +0.9 en moyenne à 1.5 ans, passant de 7 à 8. Il rapporte un effet plafond pour les stades 8(84). Sindou trouve une amélioration moyenne du FAQ de Gillette de +4.3 ( 3->7.3/10) à 1 ans de la chirurgie (85). Sur le long terme : Gutknecht trouve une amélioration du FAQ de +1 en moyenne à 8 ans (n=59, non significative)(86). Plusieurs études utilisant d'autre échelles de marche montrent des améliorations des stades fonctionnels de marche (84,85,87).

**Nos résultats restent dans l'ordre de grandeur des études avec une amélioration médiane de 2 points (4->6) mais le niveau de départ est moins élevé que dans les études de Gutknecht et Trost. La progression du FAQ de 4 à 6 a une importance clinique car cette amélioration correspond au passage d'une marche d'intérieur/de rééducation à une marche en extérieur sur 4.5-15m.**

Nous n'avons pas trouvé de facteur prédictif d'amélioration de la FAQ mais nous avons noté que les patients de plus bas niveau fonctionnel (GMFCS V, non scolarisé) et les enfants dystoniques ne progressaient pas sur l'échelle FAQ ce qui semble cohérent avec les objectifs de nursing souvent premiers chez ces enfants.

FAQ et GMFCS reposent à la fois sur l'évaluation du clinicien et de la famille, qui tous deux ont participé à la décision de la RPF. On ne peut éliminer la part psychologique d'un tel choix dans l'évaluation post-opératoire de ces scores qui comporte une composante subjective. Pour s'en affranchir une évaluation plus objective de la marche par analyse quantifiée serait souhaitable.

#### IV-A.3.c. Corrélation clinique du FAQ

Alors que la marche du paralysé cérébral a une tendance naturelle à se détériorer (88,89), l'amélioration des stades fonctionnels est objectivée par les analyses qualitatives de la marche et il a été rapporté une amélioration

- des paramètres cinétiques (vitesse de marche (90–92), cadence, longueur du pas, (90)),
- des caractères cinématiques<sup>7</sup> (augmentation de la flexion dorsale de cheville en phase d'appui et en phase oscillante, une diminution de l'angle de progression interne du pied, une augmentation de l'extension de hanche et de genou en phase d'appui, supérieures au groupe contrôle. (90,94–96),
- des paramètres cinétiques (force de marche (91,92), efficacité énergétique (95,96), force des extenseurs de genoux et des releveurs de pieds (97).

Les améliorations cinétiques se maintiennent à 20 ans (vitesse de marche (98,99), endurance, longueur de pas (99)). Les améliorations cinématiques sont persistantes à 10 ans (amélioration de l'EVGS<sup>8</sup> en particulier sur les items flexion de genou, diminution de l'inclinaison tibiale, majoration de la flexion dorsale de cheville, amélioration du contact du pied au sol)(101).

---

<sup>7</sup> Pour Munger (93), les amplitudes articulaires sagittales dynamiques du genou à la phase oscillante et les flexions dorsales et plantaires de cheville à la phase d'appui sont les cibles plus visées par la RPF. L'auteur ne trouve pas de différence en termes d'efficacité sur la marche entre les groupes RPF et le groupe TOXINE BOTULIQUE/Chirurgie orthopédique

<sup>8</sup> Edinburg Visual Gait Score (EVGS) : score d'analyse visuelle de la marche étudiant les différentes articulations en 17 items.(100)

La RPF semble avoir un meilleur effet sur les articulations distales (genoux et chevilles) selon Romei et Roberts (101,102) (la flexion du genou en début de phase oscillante est le déficit clef qui serait le plus amélioré par la RPF) alors qu'aucune amélioration n'est notée au niveau pelvien, peut-être du fait de la faiblesse des psoas et des ischio-jambiers (101).

#### IV-A.4. Indice de dépense énergétique

##### IV-A.4.a. Choix de l'échelle

Rares sont les études qui étudient les coûts énergétiques de la marche après une RPF : certains auteurs recueillent l'EEI (Energy Expenditure Index) par mesure respiratoire de la consommation d'oxygène (86) et ou le Physical Cost Index (PCI) qui se rapproche de l'IDE. Par rapport au PCI, l'IDE est moins sensible aux facteurs extrinsèques pouvant faire varier la fréquence cardiaque de repos (température, émotions...). La mesure de l'IDE implique une marche possible pendant au moins 3 minutes. Cette limite explique le faible nombre de données recueillies (n=13) ce qui est regrettable car l'IDE est une de nos données les plus objectives.

##### IV-A.4.b. Evolution de l'IDE après une RPF dans la littérature

Steinbok relève une diminution de l'index de coût énergétique<sup>9</sup> de 0.3 points à 9 mois mais sans différence avec le groupe contrôle (patients non opérés (69). Les études de coût métabolique par test respiratoire montrent une diminution de 15% à 1 an (84,86) et 25% à 8 ans ou l'absence de modification (93,95).

L'amélioration de l'IDE sur notre population était significative selon les critères de Cristol<sup>10</sup> pour 6/13 enfants (et une dégradation significative était notée pour 1/13 enfants).

**Les valeurs de Steinbok (69) sont moins importantes que les nôtres (-1.26 à 2 ans vs -0.3<sup>11</sup>) et il nous semble important d'exprimer les résultats relativement à la norme. Sur notre population, contrairement à l'évolution de la GMFM, la diminution de l'IDE semble non seulement se maintenir mais même progresser à 24 mois, dans les limites du petit nombre de nos valeurs disponibles (n=14).**

##### IV-A.4.c. Corrélation clinique de l'échelle

Pour Bérard, l'IDE reflète les capacités de marche en extérieur mais manque de sensibilité (43). Les auteurs s'accordent pour dire que le coût énergétique est corrélé à la spasticité (84,86), notamment des fléchisseurs plantaires (28,29,104).

**En somme, chez l'enfant marchant, l'IDE est un indice intéressant, reflet de la spasticité et des capacités de marche, facile à mesurer bien que les données disponibles dans la littérature soient rares. Malgré cela la littérature et nos résultats sont en faveur d'une diminution du coût énergétique de la marche après une RPF.**

---

<sup>9</sup> Physical Cost Index (PCI) calculable au domicile à partir de la vitesse de marche et de la différence de fréquence cardiaque (Fc) Fc à 5 min – Fc au repos (103)

<sup>10</sup> Selon Cristol, toute variation de +/-0.2 de l'IDE de référence est significative, (31)

<sup>11</sup> Sous réserve qu'on puisse comparer ces deux mesures.



#### IV-A.5. Cohérence des résultats

Afin de s'assurer de la cohérence de nos résultats, nous avons cherché s'il existait une corrélation entre les échelles utilisées, ou du moins une évolution parallèle (Tableau 13).

#### Les correspondances retrouvées entre les échelles étaient :

- **Entre le GMFCS et le FAQ (en stade et en amélioration).** Tous les patients qui ont gagné au moins 3 points sur l'échelle de Gillette sont passés d'un stade IV à III, sauf 1 patient qui est resté stable au stade III. Certains patients sont restés au même stade GMFCS mais ont amélioré leur stade FAQ.

Ces résultats suggèrent que l'échelle de Gillette est plus sensible que la GMFCS. Cependant 3 patients ont changé de stade GMFCS mais n'ont gagné qu'1 stade de FAQ (passés de GMFCS IV à III et de FAQ 5 à 6 ou 3 à 4). Ces résultats sont en faveur d'un effet seuil du FAQ entre 5 et 6 pour le stade GMFCS III ou bien mettent en évidence le manque de précision des cotations de notre population, favorisé par le recueil rétrospectif de nos données (notamment entre les niveaux 4 et 5).

- **Entre la GMFM et le FAQ (amélioration) :** L'augmentation du GMFM semble être parallèle à l'amélioration du stade FAQ (corrélation non statistiquement significative) (Tableau 25)

- **Entre la GMFM et l'IDE (valeurs absolues et non en variations) :** Nous n'avons pas trouvé de corrélation statistiquement significative entre les variations d'IDE et les GMFM (Pearson= 0.036) alors qu'il a été décrit plus haut que l'amélioration de la GMFM était corrélée à la vitesse de marche. Cependant les différences moyennes d'IDE de notre population restent favorables (c'est-à-dire <0) lorsque la GMFM s'améliore.

En revanche aucune corrélation significative n'a été trouvée entre l'amélioration du stade GMFCS et les variations des GMFM, entre l'IDE et le GMFCS, ni entre le stade de la FAQ et l'IDE. (Tableau 13). Ceci peut être mis sur le compte du faible nombre de valeurs d'IDE recueillis.

Différence de GMFM DE (moyenne)	Différence d'IDE M24 (moyenne)	Différence de FAQ (médiane)	Différence de GMFCS (médiane)
-11 à -2% N=5	-2.19	0 (0 à +4)	0 (n=1)
0-1% N=4	+0.28	1 (+1 à +6)	-1 (n= 2)
3-5% N=5	<b>-3.16</b>	1 (0 à +1)	0 (n= 0)
11-24% N=9	-0.45	1.5 (0 à +3)	0 (n= 4)
39%-44% N=2	+0.11 (n=1)	2.5 (+2 et +3)	-0,5 (n= 1)

Tableau 13 : Comparaison de l'évolution des scores fonctionnels en fonction des sous groupes d'amélioration de la GMFM

**Pour conclure, ces 4 critères de jugement sont, en dehors de l'IDE, les plus couramment utilisés dans la littérature, notamment dans les études sur les RPF. Ils se complètent mutuellement pour l'évaluation grossière des habiletés motrices.**

**Ces échelles auraient pu être complétées par les testings moteurs (mais il n'existe pas d'échelle validée ni standardisée valable pour les enfants d'âge préscolaire (75)), des échelles de contrôle moteur sélectif (échelle de Trost (105) utilisée dans notre centre) et des échelles plus précises de marche. C'est bien l'ensemble des critères de jugement recueillis qui permettra de conclure quant aux éventuels bénéfices moteurs de la RPF et l'on ne peut se contenter d'un seul critère de jugement dans ce type d'étude. Mais surtout, nos critères de jugement ne permettent pas d'évaluer certains objectifs plus fonctionnels de la RPF parfois attendus pour certains enfants, notamment non marchants.**

#### IV-B. Biais de notre étude

##### IV-B.1. Biais d'attrition

Une limite de notre étude est la quantité de données qui a été limitée à la fois par la taille de l'échantillon, par le nombre de données manquantes (du fait du caractère rétrospectif du recueil de données) et aussi par les échelles pouvant être inadaptées au statut fonctionnel du patient (GMFM D et E non réalisable par les enfants de stade GMFCS V, IDE rarement faisable).

Une des forces de notre étude est la durée de suivi moyenne pour les critères de jugement secondaire qui est de 10 ans (2.1-28 ans).

##### IV-B.2. Biais de mesure, de détection

Le recueil rétrospectif de nos données est un biais (absence d'aveugle) et à risque de *misclassification* qui est malheureusement retrouvée dans de nombreuses études citées par Tedroff (34) : 8 études de 1980 à 1990 ont assigné rétrospectivement les stades GMFCS. Munger innove en 2017 en introduisant une méthode pour une détermination non biaisée, rétrospective du stade GMFCS basée sur le recueil de données rempli par les patients eux-mêmes au moment de la visite (online) (94), les stades FAQ et les évaluations de la marche aux différentes visites qu'il traduisait en stade GMFCS par un algorithme de type *machine learning*.

Pour cette étude si les stades GMFCS et FAQ n'étaient pas disponibles ils étaient déduits des observations cliniques et/ou recueillis auprès des kinésithérapeutes et médecin de l'enfant.

Enfin concernant le recueil du stade de la FAQ et des objectifs fonctionnels, ces données sont purement subjectives, et comme le soulignait le Pr Bérard, les avis des familles (et des soignants) sont à prendre avec prudence qui sont généralement satisfaits du résultat même si la chirurgie a été déléguée (dans le cas de chirurgie multisite), du fait de la difficulté à prendre des décisions opératoires, rééducation longue et difficile, et du besoin d'être réassuré d'avoir pris la bonne décision.

##### IV-B.3. Absence de groupe contrôle

L'absence de groupe contrôle est regrettable car la marche et la fonction motrice changent naturellement avec le temps.

Pour palier à cette limite, Josenby (72) compare également les courbes GMFM 66 à l'évolution naturelle des PC décrite par Rosenbaum (26). Mac Williams (106) puis Bolster (73) font une analyse plus fine que Josenby en comparant chaque enfant à *son centile* de référence décrit par Hannah (18). Pour son étude (106), McWilliams a développé un logiciel pour simplifier et augmenter la fiabilité de ce procédé d'interpolation.

En outre, il n'est pas certain que les améliorations fonctionnelles notées après une RPF ne soient pas le fait de l'intensification de la rééducation en post-opératoire. En effet, peu d'étude détaille l'effet de la rééducation seule, chez les enfants PC. Rayan dans une revue des essais randomisés contrôlés (ERC) de la Cochrane (107) met en évidence l'absence d'ERC montrant l'efficacité de la kinésithérapie dans la PC : la qualité des preuves de l'efficacité des exercices aérobiques, en résistance, et mixtes est basse voir très basse. Les preuves disponibles suggèrent que l'exercice en aérobique améliorerait la GMFM et non la vitesse de marche. Le renforcement musculaire progressif en résistance améliorerait la force mais aurait un effet équivoque sur la fonction motrice et sur la marche.

Cependant, dans certains essais contrôlés (108) sur la RPF, les enfants du groupe contrôle avaient, eux aussi, bénéficié d'un séjour de rééducation intensive (même si on ne peut éliminer une influence de l'absence d'aveugle sur l'intervention rééducative).

## IV-C. Autres critères de jugement

### IV-C.1. Spasticité

#### IV-C.1.a. Effet de la RPF sur la spasticité

Plusieurs études rapportent une diminution de -1 à -2 points sur l'échelle d'Ashworth modifiée (Annexe E- Tableau 23). Tedroff (34) rapporte sur 16 études évaluant l'effet sur la spasticité, toutes rapportent une diminution soutenue voir même l'obtention d'un tonus normal.

Sur notre échantillon, à l'occasion d'une autre étude, on a pu noter une diminution statistiquement significative dès 3 mois au niveau des adducteurs (-1 pts), à partir de 6 mois pour les ischio-jambiers (-1.5 pts) et à 12 mois une régression partielle de l'effet qui avait pu être observé sur les ischio-jambiers et les triceps (résultats non significatifs pour ces derniers). Aucune diminution statistiquement significative n'a été notée sur les triceps suraux. Les autres muscles n'ont pas été analysés (Figure 14).

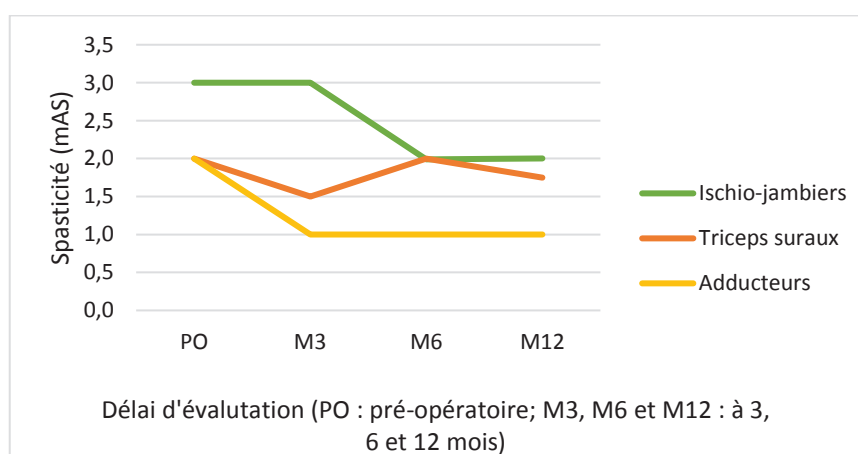


Figure 14 : Evolution de la spasticité à 3, 6 et 12 mois après la RPF pour 70 adducteurs, 64 ischio-jambiers et 62 triceps suraux.

#### IV-C.1.b. Toxine botulique et RPF

Les injections de toxine botuliques sont généralement débutées entre 2 et 6 ans chez l'enfant paralysé cérébral et sur une période durant laquelle les étapes des apprentissages moteurs sont accrus (81).

Les objectifs des injections sont communs à ceux de la RPF : diminuer la spasticité musculaire et les contractures, prévenir les déformations orthopédiques jusqu'à l'acquisition d'un schéma de marche mature, diminuer les douleurs.

Ce traitement a un certain nombre de contraintes : douleurs au moment du geste, hématome, affaiblissement musculaire, efficacité limitée dans le temps imposant des renouvellements tous les 3-6 mois, risques d'inhalation, de dysphagie, d'infection respiratoire en cas de passage systémique, coût (81) et, sur le long terme, atrophie musculaire (109).

Si le sevrage des injections de toxine botulique n'est pas un objectif déclaré de la RPF on pourrait souhaiter qu'elle en permette au moins l'arrêt transitoire.

Dans la littérature il est rapporté que 12.5 à 53% des enfants ayant bénéficié d'une RPF recevront des injections de toxine dans les suites (Annexe D – Tableau 24).

Dans notre échantillon de patients tous les enfants qui recevaient des injections avant la RPF ont de nouveau été injectés dans les 8 mois et 97% de la population totale était injectée. Cependant on note

que pour 91% d'entre eux la répartition des cibles musculaire était modifiée. Et même, il semble y avoir une concordance entre les sites injectés en pré-opératoire, les cibles musculaires de la RPF et les sites sevrés de toxine en postopératoire. Ainsi 89% et 88% des droit antérieurs et des psoas ciblés par la RPF ont pu être sevrés.

Il ne nous paraît pas pertinent d'interpréter l'occurrence d'injection de toxine comme un critère de réussite de la RPF qui s'inscrit dans l'arsenal thérapeutique de la spasticité de manière complémentaire aux injections de toxine. En effet, si la RPF permet de sevrer certains sites musculaires, les doses utilisées pourront être réparties sur d'autres sites jusque-là non traités du fait des limitations de dose totale de toxine botulique administrable. C'est le cas notamment des membres supérieurs.

De plus, le séjour de rééducation qui suit nécessairement la RPF permet aussi de réévaluer la prise en charge de la spasticité et a conduit, chez 2 de nos patients, à l'introduction de toxine. De manière complémentaire, au cours de cette hospitalisation sont confectionnées des postures de nuit en extension et des orthèses de marches dont la tolérance peut aussi nécessiter des injections supplémentaires.

**En somme, l'indication retenue par van Schie d'enfants tolérant mal les injections pluri-étagées de toxine botulique nous semble discutable, malgré les données de la littérature, puisque la plupart des enfants toxinés avant la RPF l'ont été dans les mois, puis les années, qui l'ont suivie. Cependant la RPF permet de sevrer certains sites au profit d'autres cibles musculaires et l'hospitalisation qui suit la chirurgie est l'occasion de faire une révision globale de la prise en charge de la spasticité.**

#### VI-C.1.c. Traitements oraux de la spasticité

Comme pour la toxine, on pourrait s'attendre à une diminution des prises de traitements oraux antispastiques.

Dans la littérature, Hurvitz rapporte que 38% des patients interrogés (n=88) 20 ans après le geste prenaient un traitement oral contre la spasticité (110) mais seulement 18% sur la cohorte de Park (n=95 (111)).

Sur notre cohorte 36% des patients avaient un traitement oral de la spasticité en post opératoire. Le BACLOFENE a pu être arrêté pour 4 patients seulement, soit 11% de la population totale.

Comme pour la toxine, on voit qu'à l'occasion de l'hospitalisation une prise en charge globale de la spasticité est faite, la tolérance des orthèses de posture a parfois nécessité l'introduction de VALIUM et pour 5 enfants un traitement anti spastique oral a été introduit.

Nous n'avons pas considéré le RIVOTRIL comme traitement anti spastique car celui-ci était prescrit en neurochirurgie à visée antalgique et rarement poursuivi.

**En somme, la poursuite ou l'introduction d'un traitement oral de la spasticité ne nous paraît pas être un indicateur d'échec de la RPF sur la spasticité mais le reflet d'une prise en charge rééducative globale qui a pu être initiée à cette occasion.**

#### IV-C.1.d. Spasticité et amélioration fonctionnelle

Avec les échelles d'évaluation fonctionnelle, il a été montré que les performances sur les items « rapidité du mouvement », « équilibre assis », « maintien d'une position », « facilité de mobilisation par un tiers » étaient corrélés à la spasticité (112). Cependant, il y a un manque de preuve forte que la diminution de la spasticité mène à un bénéfice clinique significatif chez les enfants PC. Dans l'étude de Munger (93) par exemple, la spasticité n'est pas corrélée à la qualité de vie : les plus hauts scores de spasticité ne se traduisaient pas par une augmentation de la douleur ou des scores de qualité de vie

plus bas. L' auteur n'a pas retrouvé non plus de différence significative sur le contrôle moteur sélectif et la force motrice(94) et la RPF ne prévenait pas le raccourcissement musculaire (83,94,113). Novak (92) relève que les interventions qui diminuent le plus la spasticité ne sont pas celles qui donnent les meilleurs résultats en termes de fonction motrice globale, rejoignant Mc Lellan (114), Graham (115) et Funk (97) qui ne trouve aucune corrélation entre la GMFM et la diminution de la spasticité.

Ce serait plutôt la force qui expliquerait les variations de performances, selon Ross (116). De ce fait, Tedroff (34) s'interroge sur le rationnel de diminuer la spasticité pour augmenter la fonction. Pour Graham, Rosenbaum et al., la faiblesse musculaire participe bien plus au handicap que la spasticité. Ce constat est en faveur d'une prise en charge basée sur l'activité plutôt qu'une prise en charge déplétive (115).

**Il nous semble cependant, que pour les enfants sévèrement atteints et présentant une spasticité importante, la diminution de la spasticité soit à l'origine d'un gain de fonction. Par exemple, une diminution des adducteurs de hanche facilitera la toilette. L'absence de corrélation entre la diminution de la spasticité et les bénéfices fonctionnels remettrait en cause le mode d'action de la RPF et la chirurgie elle-même. Il serait intéressant de comparer l'évolution de la spasticité de certains muscles à celle des objectifs fonctionnels qui pourraient être associés à ces muscles.**

**En somme, l'évaluation de l'efficacité de la RPF doit se faire nécessairement par une évaluation analytique et fonctionnelle.**

#### IV-C.2. Chirurgies orthopédiques correctrices

Selon Watt, 61% de enfants PC subissent une chirurgie orthopédique avant l'âge de 8 ans (117) majoritairement au niveau du pied et de la cheville (40%), des tissus péri-coxaux (24%), de la hanche (ostéotomie) et sur plusieurs niveau (chirurgies multisites pour 31%). Watt compte en moyenne 2.3-2.6 procédures / patient réalisées entre l'âge de 0.5 et 15.8 ans (118).

##### IV-C.2.a. Dans la littérature

Dans sa revue de 2019, Tedroff trouve, sur 11 études, que 28-94% des patients ayant eu une RPF auront une chirurgie orthopédique, le plus souvent des allongements musculo-tendineux. Aucune preuve d'augmentation ou de diminution d'indications de chirurgie orthopédique après la RPF n'est disponible. L'auteur déplore l'absence de rapport clinique des déformations orthopédiques résiduelles dans ces études (34). Sur 17 études, nous trouvons que 55% (19-96%) des enfants ont une chirurgie orthopédique, 1 an après la RPF (Annexe E- Tableau 25).

##### IV-C.2.b. Dans notre population

**Dans notre population un geste chirurgical orthopédique était réalisé chez 53% des enfants, dans le 5.3 ans suivant la RPF, principalement des ténotomies et des gestes osseux fémoraux, ce qui est comparable à la littérature. L'âge moyen de la chirurgie orthopédique était de 13 ans ce qui peut nous laisser supposer que la RPF retarde l'âge de la première intervention orthopédique.**

Nous n'avons trouvé aucun facteur prédictif de chirurgie orthopédique dans les suites d'une RPF (Tableau 14) :



Les enfants subissant une chirurgie orthopédique étaient majoritairement GMFCS III, EMFG 29%, FAQ médian 4 (6 après la RPF).

Il n'y avait pas de différence d'âge de RPF statistiquement significative avec les enfants n'ayant pas eu d'intervention orthopédiques après la RPF et tous ont été opérés avant l'âge du pic pubertaire. L'âge de la RPF était plus élevé chez les enfants n'ayant pas eu d'intervention orthopédique dans les suites.

Statut opératoire orthopédique	GMFCS et niveau ambulateur	Topographie de l'atteinte et âge	Caractéristiques de la RPF
<b>Enfants ayant reçu une chirurgie orthopédique</b> N=20	1 V (5%) 8 IV (40%) 11 III (55%) 5 non marchants (25%)	6 Diplégiques 11 Quadriplégiques 3 Mixtes 7.5 ans [5-12 ans]	<u>Cibles de la RPF</u> : ADD et TS pour 18/20 <u>Section moyenne</u> : 55% (44-67%) <u>Niveaux les plus fréquemment sectionnés</u> : S1 18/20 et L3 17/20
<b>Enfants n'ayant pas reçu de chirurgie orthopédique après la RPF</b> N=17	3 V (18%) 7 IV (41%) 7 III (41%) 6 non marchants (35%)	3 Diplégiques 10 Quadriplégiques 4 Mixtes 8.25 ans [7-13 ans]	<u>Cibles de la RPF</u> : ADD, DA, IJ pour tous <u>Section moyenne</u> : 57% (43-70%) <u>Niveaux les plus fréquemment sectionnés</u> : S1 15/17 et L3 14/17

ADD: adducteur, TS: triceps sural, DA: droit antérieur, IJ: ischio-jambiers.

Tableau 14 : comparaisons des patients recevant et ne recevant pas de chirurgie orthopédique après la RPF sur notre population

Deux enfants avaient bénéficié d'une chirurgie orthopédique avant la RPF (une ténotomie des 2 abducteurs + ostéotomies de hanches bilatérale 2.5 ans avant la RPF et une ténotomie des abducteurs et des adducteurs + ostéotomie du bassin dans les 3-4 ans avant la RPF). Si pour certaines équipes cet antécédent est un critère d'exclusion des études, il est plusieurs fois rapporté des cas similaires. Par exemple dans l'étude de Chicoine (119) 24% des enfants ont eu une chirurgie orthopédique avant la RPF. On peut penser que si une intervention orthopédique a déjà été nécessaire les rétractions musculaires sont telles que les résultats de la RPF seront moindres et que l'amélioration du schéma de marche n'est pas un objectif réaliste.

Dans les faits, ces deux patients avaient un objectif d'amélioration du schéma de marche et celui-ci s'est finalement détérioré pour l'un (marche affaiblie, la seule amélioration concernait la mobilité du genou) et pour l'autre il était noté une stagnation des possibilités fonctionnelles, une rétraction importante des plans postérieurs à 18 mois (sans autre précision sur le schéma de marche). Le stade GMFCS était resté à IV, la GMFM et l'IDE n'étaient pas mesurées et aucune progression n'était notée sur la FAQ (pour un patient perte d'un niveau). Ces deux enfants étaient opérés à 8 et 12 ans et ont bénéficié d'une seconde intervention orthopédique après la RPF.

**En somme, la RPF n'évite pas les interventions orthopédiques. Il est consensuellement admis que le traitement de la spasticité et des déformations orthopédiques (87) sont nécessaires à la prise en charge des diplégiques spastiques. La RPF pourrait cependant s'inscrire dans une démarche complémentaire de la chirurgie orthopédique qui n'a pas été évaluée (aucune étude ne compare des groupes : chirurgie orthopédique seule vs RPF+chirurgie orthopédique)<sup>12</sup>. Par ailleurs, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'un antécédent de chirurgie orthopédique avant la RPF soit un facteur de risque d'échec de la chirurgie, notamment sur l'objectif de marche.**

#### IV-C.2.c. Effet sur la hanche

Les douleurs coxales sont fréquentes chez l'enfants PC (47% des enfants d'une cohorte de 234 patients PC non marchants âgés de plus de 15 ans d'après Hodgkinson (120). La douleur peut être liée à une non congruence entre la tête fémorale et le cotyle, qui provoque une usure anormale du cartilage (121) ou bien, chez les enfants hypotrophiques, à un hyper-appui sur saillies osseuse. Le risque relatif de subluxation coxale augmente avec le GMFCS (122) et augmente avec le temps au fur et à mesure que la maladie se détériore cliniquement. L'excentration de hanche est mesurée et suivie par l'indice de Reimers (pourcentage de la largeur de la tête fémorale couverte par le toit du cotyle, norme <33%, (123)).

Il a été observé une stabilisation de la migration de hanche après une RPF (89-93%) (124,125) voir parfois une amélioration (9-22% des enfants, (75,124–126). Park et Heim (124,125) ne trouvent pas de corrélation entre l'âge de la RPF, le statut ambulatoire pré-RPF et l'efficacité sur la hanche, mais l'amélioration était plus importante pour les indices de Reimers les plus élevés.

A l'inverse, et isolément, Greene a rapporté 6 cas de subluxation rapide à 1 an de la RPF (Reimers passant de 25->50%).

Les auteurs rapportent entre 9-25% de chirurgie correctrice d'excentration de hanche dans les suites d'une RPF (73,124,127).

Dans notre population, seuls 4 enfants (11%) ont eu une excentration invalidante de hanche : 2 ont bénéficié d'une butée de hanche, 1 d'une prothèse totale de hanche et le dernier d'infiltrations itératives de corticoïdes (intervention coxale refusée par la mère).

Ces enfants avaient bénéficié d'une RPF entre 6-8 ans et les gestes au niveau coxal ont été fait dans les 5 ans en moyenne après la RPF (âge moyen de la chirurgie orthopédique : 12 ans).

Les cibles musculaires étaient les adducteurs, les droits antérieurs et les ischio-jambiers. Ces quatre patients avaient été sectionnés au niveau de L2, L3 et S1 (30-66%). Chez ces 4 enfants la diminution médiane de la spasticité au niveau des adducteurs était de -1 points (2.5->2) sur l'échelle d'Ashworth modifiée. Les indices de Reimers n'ont malheureusement pas été recueillis.

**Donc chez ces enfants, bien que la RPF ait ciblé les muscles impliqués dans la migration coxale avec une efficacité sur la spasticité, elle n'a pas évité – mais peut-être retardé- les recours à des interventions ultérieures sur les hanches.**

---

<sup>12</sup> L'amélioration de la marche sur le long terme doit être interprétée comme le résultat de la combinaison des chirurgie orthopédiques correctrices, de la RPF et des autres traitements de la spasticité, des soins de rééducation réguliers, et de la croissance de l'enfant (101).

#### IV-C.3. Diminution des douleurs

La RPF n'a pas d'effet positif sur la douleur sur le long terme (77). Dans les études contrôlées les scores de douleurs sont similaires aux groupes contrôles (93,128) et 44-66% des patients interrogés plusieurs années après la RPF rapportent des douleurs dans les 7 jours précédents les questionnaires (110,128). Cependant ces douleurs interfèrent de manière minimale avec les activités (93). Sur le court terme, seule l'étude de Summers, rapporte une diminution de 2.5 points/année sur l'échelle numérique de la douleur sur un suivi de deux ans (74).

Dans notre population il était rapporté une diminution des douleurs, toujours liée à la spasticité, chez 5 patients notamment aux ischio-jambiers, aux genoux lors de la marche et une diminution des accès de spasticité douloureuse, mais ces données n'ont pas été quantifiées.

#### IV-C.4. Effets supra-segmentaires et sur les actes de la vie quotidienne

Des effets à distance ont été décrits : aux membres supérieurs, au niveau du tonus postural axial et cervico céphalique ainsi que pour la déglutition et la phonation (52,83,87,92,129–133)

De nombreuses études rapportent une amélioration des performances fonctionnelles de la vie quotidienne souvent évaluées par la PEDI scale (recours à des aides humaines, autonomie dans les soins personnels, mobilité) (134–137). Cet effet est retrouvé sur le long terme à 10-20 ans (amélioration du niveau de base des activités de la vie quotidienne (72,119,138–141) chez 58% des enfants (98))

A 22 ans de la RPF et comparativement à une population de PC n'ayant pas eu de RPF, 88 adultes PC opérés rapportent une amélioration de la GMFCS, de la SRFM (Self-Reported Functional Measure, 13 items sur les actes de la vie quotidiennes mesurant le taux d'assistance nécessaire pour chacun d'eux, développée pour les blessés médullaires) et un moindre nombre d'heures d'aide humaine par semaine(128).

A l'inverse, Munger, suggère dans son étude de cohorte prospective, qu'il n'y a pas d'amélioration significative sur le long terme dans les domaines de la CIF (Classification Internationale du Fonctionnement)(93).

Dans notre population, 5 patients ont rapporté des effets que l'on pourrait qualifier de supra-segmentaires (14%) : amélioration de l'ouverture des mains, de capacités de manipulation et pour un enfant de l'état d'éveil de l'alimentation.

#### IV-C.5. Effets sur la qualité de vie (QDV)

Aucun essai randomisé contrôlé n'a été fait sur l'effet de la RPF sur la qualité de vie.

Dans une étude transversale, Park montre que 91% des patients rapportent une amélioration de la qualité de vie à 20-28 ans de suivi sans suivi (142).

Dans son étude de 2019 (74), la NHS a évalué en critère de jugement primaire la qualité de vie des enfants opérés via le CP-QoL<sup>13</sup>. Les auteurs rapportent une amélioration des scores de fonctionnement,

---

<sup>13</sup> Cerebral Palsy Quality of Life Questionnaire for Children (évaluation de 7 domaines par les parents ou les soignants : bien-être et acceptation sociaux, auto-appréciation du fonctionnement, santé physique et participation, santé familiale, douleur et impact du handicap (143)

de participation et de santé physique, de bien-être émotionnel et d'estime de soi, de douleur et évaluant l'impact du handicap et santé familiale.

**Compte tenu des corrélations entre les échelles d'habileté fonctionnelles et de qualité de vie et la GMFCS la GMFM, nous pouvons espérer des améliorations globalement plus bénéfiques après une RPF.**

#### IV-C.6. Effets bénéfiques urinaires

Ce sujet est abordé dans la partie complications.

#### IV-D. Durabilité de l'effet des RPF

D'après les observations médicales, il y a eu une impression globale de perte des bénéfices à partir de 18 à 24 mois, rapportée chez 11 patients.

Pour ces enfants, les objectifs étaient : la marche (9/11), la station assise et le nursing (3/11). Tous ont reçu des injections de toxine botulique en moyenne 18 mois après la RPF, 7/11 ont bénéficié d'une chirurgie orthopédique correctrice dans les suites et 3/11 ont bénéficié de neurotomie à 4 ans de la RPF (obturateurs interne, branche motrice du droit antérieur).

En outre, bien que l'amélioration des stades fonctionnels GMFCS se maintienne à 24 mois on note une inflexion de la courbe de GMFM à 24 mois même si les niveaux restent supérieurs aux niveaux préopératoires (cf. Figure 14 et 15). Le FAQ semble aussi atteindre un palier à 24 mois.

Concernant la GMFM, il a été montré que l'amélioration du GMFM se maintenait, mais plusieurs auteurs (77,82,83,138) décrivent une diminution de la GMFM entre 5 et 10 ans (Figures 24, 25), celle-ci restant le plus souvent supérieure à la GMFM préopératoire. Pour Daunter le déclin des fonctions motrices surviendrait seulement entre 21 et 25 ans après la RPF (128).

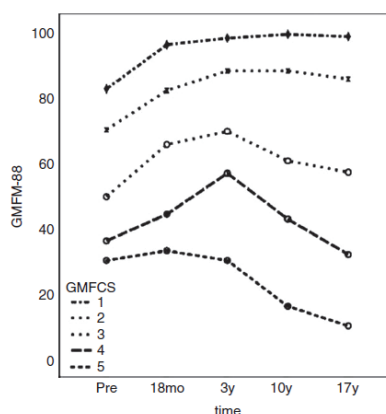


Figure 15 : Evolution de la GMFM 88 en fonction du stade GMFCS à 1.5, 3, 10 et 17 ans de la RPF. Extrait de Tedroff 2015 (77)

Concernant le FAQ, plusieurs auteurs rapportent un maintien mais sans progression de l'amélioration de la marche (77,99) voir même une régression des capacités des marche (jusqu'au niveau préopératoire à 17 ans de la RPF selon Tedroff (77)). D'après Park (142), si l'objectif de la RPF est une marche avec déambulateur dans un environnement protégé, le patient doit être prévenu que sa marche risque de se détériorer avec la croissance future L'auteur rapporte, à 20-28 ans, que 30% des adultes disent avoir amélioré leur marche après la RPF, 53% n'ont pas noté de changement et 17% ont

ressenti une aggravation. Cependant les patients dégradés ne marchaient pas indépendamment ou avec des béquilles avant la RPF. L'auteur attribue ce déclin à la prise de poids sans augmentation de force durant la croissance. Les patients qui marchaient seuls ou avec des béquilles ont obtenu un haut niveau de marche alors que les patients qui marchaient avec un rollator en milieu protégé pouvait perdre la marche avec l'âge.

Romei conclut, en accord avec Langerak et Mc Fall, que les enfants diploïques spastiques ayant subi une RPF dans l'enfance évolueront sur le long terme vers une marche en flexion modérée de genoux (76,99,101).

Pour le stade GMFCS en revanche, les améliorations obtenues tendent à se maintenir dans les études de cohortes (Annexe E -Tableau 21).

## IV-E. Complications

### IV-E.1. Complications immédiates

Les complications per-opératoires immédiates sont rares (144) et ne sont survenues chez aucun de nos patients.

#### IV-E.1.a. Complication anesthésiques

Ces complications sont souvent en lien avec la prématurité (162) : hyperactivité bronchique, maladie des membranes hyaline, reflux gastro-œsophagien (RGO)). Les mesures préventives ont montré une diminution de survenue de ces évènements indésirables : traitement d'un reflux gastro-oesophagien (par anti-H2) pour éviter les pneumopathies d'inhalation, aminophylline en bolus intra-veineux la veille de l'intervention pour éviter les bronchospasmes, respect du régime alimentaire habituel pour éviter les iléus.

Tedroff rapporte 9% de complication pulmonaires (bronchospasmes et pneumonies) dans sa revue de la littérature (33).

#### IV-E.1.b. Complications chirurgicales

Hémorragies, hématome profonds (0.4%), infections (0.1%), lésions des structures adjacentes, abandon de la chirurgie du fait de l'anatomie rachidienne, fermeture dure-mérienne incomplète (1%) sont relevé dans la méta-analyse de Tedroff sur 553 patients (34).

### IV-E.2. Complications précoces

- Neuro-chirurgicales de type méningocèle (11%) (129)
- Neurologiques à type de douleurs : douleurs neuropathiques des membres inférieurs et dorsales (11-14%), douleurs cicatricielles, spasmes musculaires dans les cuisses et le dos.
- Neurologiques à type d'hypoesthésie (environ 11%)
- Neurologiques à type d'affaiblissement musculaire
- Vésico-sphinctériennes :infection urinaire (2.5-8%) (69,129,134), balanites (69), rétention aigue d'urine >72h (4.4-7%) (69,145), constipation.
- Générales : bronchopneumopathie (environ 5%) (58,134).

### IV-E.3. Complications tardives

La revue la plus récente sur les RPF (34) rapporte 11 à 57% de complications tardives dont les plus fréquentes sont les déformations rachidiennes. Les autres complications tardives sont vésicosphinctériennes, sensitives, rachidiennes, musculaire (affaiblissement des muscles anti-gravitaires).

#### IV-E.3.1. Affaiblissement musculaire

##### IV-E.3.1.a. Dans la littérature



Plusieurs auteurs rapportent une faiblesse musculaires dans les suites de la RPF : une faiblesse attendue qui requiert une kinésithérapie précoce selon Graham (115) mais sont aussi décrits des cas d'hypotonie excessive aux membres inférieurs (83) notamment dans les muscles antigravitaires (pour laquelle Sindou préserve systématiquement les racines innervant le quadriceps et le triceps sural (136)). Sur le long terme, Park relève que 30% des enfants rapportent un affaiblissement musculaire progressif avec l'âge, sans qu'on puisse affirmer que ce ne soit pas l'évolution naturelle (142).

#### IV-E.3.1.b. Dans notre population

Cinq enfants ont été affaiblis en post-opératoire

Deux d'entre eux ont finalement amélioré les capacités qui étaient affaiblies (amélioration de l'hypotonie et amélioration de la marche). Les scores fonctionnels étaient améliorés chez ces cinq enfants.

Parmi les 5 enfants affaiblis, 3 avaient des causes confondantes d'affaiblissement : hypotonie axiale sur hypoplasie vermienne, syndrome d'Arcaidi Gouttière<sup>14</sup>, une ténotomie des adducteurs précédant la RPF. Nous n'avons pas trouvé d'autre facteur explicatif parmi les facteurs modifiables et non modifiables étudiés plus haut.

**Sur notre population, comme dans de nombreuses études, c'est une amélioration motrice qui est retrouvée qu'il y ait eu ou non un affaiblissement moteur transitoire dans les suites de la RPF.**

#### IV-E.3.2. Troubles vésico-sphinctériens

##### IV-E.3.2.a. Troubles vésico-sphinctérien chez l'enfant paralysé cérébral

Sur le plan clinique, les auteurs (136,146,147) rapportent que 36% à 50% des sujets PC présenteraient des signes cliniques de vessies neurologique, dont 8% à 66% objectivés au Bilan Urodynamique (BUD). D'autres auteurs montrent au contraire que des anomalies urodynamique ne peuvent être asymptomatiques (tous les enfants PC étudiés par Bross présentaient des signes de vessies neurologiques au BUD mais 20% étaient asymptomatiques(148), résultats similaires chez Houle (147)).

L'âge moyen d'obtention d'une continence est de 47 mois (4 ans) chez l'enfant PC contre 27 mois (2 ans) chez l'enfant ordinaire (149). Roijen, s'appuyant sur l'observation de 601 patients PC, rapporte une incontinence primaire de 23.5% mais l'obtention spontanée d'une continence pour 80% des enfants di- ou hémipariétiques et 54% des enfants quadriplégiques (150).

##### IV-E.3.2.b. Complications vésico-sphinctériennes de la RPF dans la littérature :

Après une RPF, les auteurs rapportent entre 11 et 23% incontinence urinaire persistante (69,111) ou résolutive en 4 mois (50% (69,83,134)). Tedroff rapporte des troubles définitifs vésicaux chez 29% des enfant qui ont eu un RPF (34). Sur le plan digestif il est rapporté une constipation dans 34% des cas, nécessitant la poursuite d'un traitement laxatif 5 ans après la RPF chez 25% des enfants opérés (34,134).

---

<sup>14</sup> Diagnostique posé à distance de la RPF. Cette enfant aurait due être exclue des analyses.

Les hypothèses physiopathologiques iatrogéniques avancées sont de potentielles lésions de l'artère radulaire du cône, une contusion des racines motrices caudales, ou bien une diminution d'une spasticité utile aux fonctions vésico-sphinctériennes pour certains enfants en pré-opératoire (145).

#### IV-E.3.2.C. Mesures préventives

##### *IV-E.3.2.c.1. MONITORAGE ELECTROPHYSIOLOGIQUE*

Deletis, Abbott et al. ont montré que l'innervation afférente pudendale est variable et que le nerf pudendal peut être issu d'une seule racine sacrée, unilatéralement dans 7.6% des cas (151,152). La contribution des racines aux afférences pudendale est de 4% pour S1, 60.5% pour S2 et 35.5% pour S3. Dans 18% des cas, les afférences pudendales dépendent de 2 racines mais d'un seul niveau (152).

Les auteurs proposent un monitoring des nerfs pudendaux via le recueil de potentiel d'action au niveau de S1, S2 et S3 (*Dorsal Root Action Potentials* DRAPs) après la stimulation du nerf dorsal pénien ou du nerf clitoridien. Ainsi, 56% des racines S2 ayant une réponse pathologique ont été épargnées du fait des DRAPs dans la série d'Abbott et il n'a eu aucun effet indésirable uro-digestif parmi les 105 enfants monitorés (152). Steinbok relève que les patients qui bénéficiaient d'un monitoring du nerf pudendal S2 avaient moins d'incontinence urinaire secondaire à la chirurgie (69).

Le monitoring ne diminue pas l'efficacité de la RPF mais permettrait au contraire d'inclure plus sereinement les racines S2 dans le schéma de section, ce qui est associé à une meilleure efficacité sur la spasticité du triceps sural (6% de spasticité résiduelle sur les triceps suraux à 6 mois dans le groupe monitoré en S1-S3 contre 11% dans le groupe non monitoré, n=94) (153).

Sur notre population aucun recueil des DRAPs n'était fait mais un monitoring du sphincter anal était réalisé. Celui-ci reste à optimiser puisque, chez la plupart des patients ayant présenté des complications urinaires, aucune réponse sur le sphincter anal n'avait été obtenue (Tableau 15).

A l'inverse, chez un patient, une racine S1 a été sectionnée alors que sa stimulation provoquait une réponse motrice modérée au niveau du sphincter anal (250 mA), sans qu'il n'y ait eu de conséquence clinique vésico-sphinctérienne (mais la stimulation des racines S2 provoquait une réponse de même intensité sur le SpA).

**Aussi, nous nous posons la question de l'intérêt d'une stimulation systématiques des racines S2 – S4, même si elles ne sont jamais sectionnées, afin de s'assurer de l'innervation vésico-sphinctérienne et de s'assurer de l'absence de faux négatifs à la stimulation de S1. Ou bien, nous pourrions introduire la technique d'Abbott et Deletis bien qu'elle soit complexe à mettre en œuvre chez l'enfant. Plus simplement, un monitoring du sphincter vésical striée par voie transcutané pourrait être réalisé.**

Par ailleurs, nous nous posons la question de l'imputabilité de la racine L1 (nerf hypogastrique, commande sympathique du centre dorsolombaire) mais aucune racine L1 n'a été coupée sur les patients de notre cohorte ayant présenté des complications urinaires.

##### *IV-E.3.2.c.1. BILAN URODYNAMIQUE (BUD)*

Pour Deletis, les enfants présentant des infections urinaires récurrentes, une constipation, un apprentissage de la propreté retardé sont à risque de complications urinaires et doivent bénéficier d'un BUD en pré opératoire (151).

Dans notre centre hospitalier, un BUD est réalisé systématiquement en cas de signe cliniques urologiques et 6 mois après la chirurgie en cas de modification du statut vésico-sphinctérien.

Nous rejoignons l'auteur sur le fait qu'il ne faut pas faire de BUD pré-opératoire en l'absence de signe clinique du fait de la présence quasi-constante d'anomalies urodynamiques chez les enfants PC, et surtout du caractère invasif d'un tel examen chez l'enfant dont le vécu serait aggravé par l'incompréhension en l'absence de signe clinique. Ainsi, chez une de nos patientes, le BUD était ininterprétable du fait des pleurs.

Cependant, réaliser un BUD systématiquement en pré-opératoire apporterait un confort médico-légal (des anomalies urodynamique dédouanerait la chirurgie en cas de signe fonctionnels post-opératoire), scientifique (recherche clinique) et surtout permettrait un suivi urologique de vessie neurologiques ignorées.

Nous nous posons la question de l'interprétation des résultats en termes de réponse chirurgicale. Un sphincter hypertonique sans signe clinique impliquerait-il une préservation des racines sacrées afin de ne pas déséquilibrer une vessie dépendante de la spasticité ? Pour un enfant, qui présentait une vessie hypotonique en préopératoire, le chirurgien a décidé de préserver S1 au détriment de la spasticité des ischio-jambiers qui n'a pas pu être corrigée. Il n'y a pas eu d'aggravation vésico-sphinctérienne dans les suites.

#### *IV-E.3.2.c.3. AGE DE LA RPF*

Concernant l'âge, on pourrait penser qu'il faille éviter la période d'apprentissage de la propreté mais dans les faits, les patients aggravés sur notre population avaient entre 6-11 ans au moment de la RPF.

**En somme, sur notre population les enfants ayant présenté une aggravation urinaire avaient tous été sectionné en S1 mais sans que cette racine ne réponde sur le sphincter anal (hormis pour un patient). L'âge et le type d'atteinte motrice ne semble pas présager de cette complication.**

**Nous préconisons :**

- **Un interrogatoire standardisé et adapté à l'âge (selon les recommandations de l'International Children's Continence Society (ICCS) et la réalisation d'un BUD avant la RPF en cas de signes clinique vésico-sphinctériens.**
- **Un monitoring plus étendu des racines sacrées ou bien le recueil des potentiels d'action au niveau des racines dorsales sacrées après stimulation du nerf pudendal ou bien le monitoring électrophysiologique du sphincter strié vésical par voie transpérinéale.**

#### *IV-E.3.2.D. Bénéfices urinaires*

A l'inverse, il a été décrit des améliorations vésico-sphinctériennes dans les suites de RPF (154). Par exemple, Sindou réalise une section de S2 à 50-66% lorsqu'il existe une hyperactivité detrusorienne au BUD. Dans son étude, les 23 enfants ayant bénéficié d'un BUD pré et post-opératoire ont montré une amélioration significative de la capacité vésicale et des volumes de pression spécifique. Cinq des sept enfants incontinents avant la RPF sont devenu continents. Aucune dégradation n'était notée sur les paramètres urodynamiques post-opératoires. L'auteur ne précise pas les niveaux et pourcentage de section. **On ne peut cependant pas attribuer de manière certaine ces bénéfices à la RPF compte tenu de l'évolution naturelle vers la continence décrite plus-haut.**

#### *IV-E.3.2.E. Dans notre population*

Une amélioration vésico-sphinctérienne a été notée (Tableau 15) pour 4 patients (diminution des impériosités, amélioration du contrôle sphinctériens) chez qui toutes les racines S1 étaient coupées entre 50-80% (et les deux racines S2 à 60% chez une patiente). Aucune racine n'avait de réponse sur le sphincter anal (SpA).

Effets urologiques	Sexe	Atteinte	Âge	L1 G	L1 D	L2 G	L2 D	L5 G	L5 D	S1 G	S1 D	S2 G	S2 D	EMG SpA
	1:M 2:F													
RCU : Mitrofanoff	1	DS	10,7			60%	50%			60%	60%			0
RCU : HSI+XATRAL 7 ans	1	DS	7,1			50%	50%			60%	60%			0
HAV (BUD pré-opératoire : hyper-réflexie de fin de remplissage). DITROPAN	1	DS	7,5			70%	70%			70%	70%			S1 D et G
HAV	1	QS	6,4			50%	50%			60%	60%			0
HAV	1	QS	10,4			66%	66%	50%	33%	50%	50%			0
HAV	2	QS	5,7				50%			30%	30%			0
Amélioration	1	QS	4,8					50%	50%	66%	66%			0
Amélioration	1	Mixte	11,9			66%	66%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	NR
Amélioration	1	QS	9,4			60%	60%			50%	50%			0
Amélioration	2	QS	5,1			40%	40%	20%	20%	80%	80%			0

Tableau 15 : effets indésirables urologique rapporté et caractéristiques clinique et chirurgicale des patients concernés. QS : quadriplégique spastique. DS : diplégique spastique. HAV : HyperActivité Vésicale. RCU : rétention chronique d'urine. HSI : hétéro-sondages intermittents. MI : membres inférieurs. NR : non renseigné. EMG SpA : réponse électrophysiologique sur le sphincter anal.

#### IV-E.3.3. Troubles sensitifs

##### IV-E.3.3.a. Dans la littérature

Dans sa revue de 2019, Tedroff rapporte près de 50% de troubles sensitifs dont la plupart sont régressifs en 1-2 ans après la RPF : hyperesthésies, paresthésies, engourdissements(34).

Sur le plan physiopathologique : Parise, Sindou et al. ont cependant montré qu'il existe une ré-amplification centrale des signaux périphériques, ce qui expliquerait que les RPF n'entraîne que rarement des hypoesthésies gênantes (les auteurs ont montré que la section d'environ la moitié des radicelles postérieures des racines de L2 à S2, si elle affecte l'amplitude des réponses segmentaires médullaires (N22- ombilic), ne modifie pas de façon significative l'amplitude des réponses corticales (P39-cortex pariétal)) (155).

##### IV-E.3.3.b. Dans notre population

Il a été relevé 3 cas d'hypoesthésie (genou droit – résolutive en quelques semaines ; dermatome L5 – S1 bilatérale ; dysesthésie du pied résolutive en 1 an.) Deux de ces patients avaient été sectionnés sur des racines correspondant à ces territoires (33-70% de section) (Tableau 16).

#### IV-E.3.4. Douleurs

##### IV-E.3.4.a. Dans la littérature

En post-opératoire tous les patients ont présenté des douleurs importantes pendant les 72h premières heures post opératoires et diminue rapidement et les auteurs soulignent l'importance de préparer les parents pour réduire l'anxiété.

Des douleurs des membres inférieurs et des rachialgies ont été rapportées sur le long terme, souvent en lien avec des spasmes musculaires récurrents(75,110). Cependant le lien avec la RPF n'est pas évident. (98,110,142).

Des douleurs neuropathiques sont relevées chez 11-14% des patients (129,134,136,142,156).(Annexe E – Tableau 27).

##### IV-E.3.4.b. Mesures préventives

Concernant les douleurs post-opératoires immédiates, Gauger a montré une diminution des spasmes post opératoire avec une analgésie par BUPIVACAINE et HYDROMORPHONE intrathécale par pompe auto-activée (157,158). Moore, Park et al. ont trouvé une supériorité en terme d'analgésie et de complications respiratoires (-93% d'épisode de désaturation) d'une prise en charge antalgique par ROPIVACAINE 0.2% et HYDROMORPHONE épidurale + KETOROLAC IV (mais au prix d'une majoration des nausées).(159) Pour les douleurs neuropathiques, la limitation du niveau et du pourcentage de section permettrait de limiter la survenue de douleurs neuropathiques post-opératoires.

##### IV-E-3.4.c. Dans notre population

Seuls 4 patients ont présenté des douleurs neuropathiques attribuables à la RPF dont un qui a présenté des douleurs péri-cicatricielles résolutives en quelques semaines.

Dans la plupart des cas, le territoire douloureux correspond à celui de racines sectionnées (Tableau 16).

Il n'y avait pas de terrain particulier. Aucun facteur prédictif de douleur neuropathique ne nous est apparu évident.

Symptômes et durée	Antalgiques	Age	Topographie GMFCS	L1 G	L1 D	L2 G	L2 D	L3 G	L3 D	L4 G	L4 D	L5 G	L5 D	S1 G	S1 D	S2 G	S2 D		
Péricatricielles Quelques semaines.	NEURONTIN TRAMADOL	5,5	QS III	10%		33%	33%	75%	75%	50%	50%	33%	33%	75%	75%	50%	50%		
Territoire L3L4 D et G, durables		8,5	DS III											50%	50%	66%	66%		
Allodynie du MIG et hypoesthésies du genou D, quelques semaines	0	7,5	QS V			70%	70%	70%	70%							70%	70%		
Cheville gauche		8,5	DS III					60%	60%	60%	60%			50%	60%	60%	60%		
Face antérieure de la cuisse D, Quelques semaines		7	Mixtes V			60%	50%	40%	30%							60%	50%		
Genou droit (spasticité). <1 an.	NEURONTIN	9	QS IV			60%	60%	70%	60%	50%	60%			40%	40%	50%	50%		
Topographie non précisée. <2ans.	NEURONTIN	10,5	DS III			66%	66%	33%	75%	66%	33%			50%	33%	50%	50%		
Dysesthésie et hypoesthésies du MI droit + L5-S4 bilatérale G>D : dysesthésies et hypoesthésies	?	10.7	DS III					60%	50%	50%	50%	30%	30%			60%	60%		
Dysesthésies et hypoesthésies des pieds, 1 an.	RIVOTRIL	7	DS III					50%	50%					33%	33%	66%	66%	33%	33%

Tableau 16 : Douleurs neuropathique mise en rapport avec les sections radiculaire effectuées (en jaune le territoire correspondant aux signes neurologiques. MI : membre inférieur. D : droit. G : gauche.



#### IV-E.3.5. Complications rachidiennes

##### IV-E.3.5.a. Dans la littérature

Des déformations rachidiennes ont été rapportées après des RPF. Les revues de Bolster relève 56% de scoliose, 7-37% de spondylolyse, 2-24% de spondylolisthésis de grade I (73) et celle de Grunt relève 6 études rapportant des anomalies rachidiennes mais sans association forte avec la RPF (160).(Annexe E – Tableau 28).

##### IV-E.3.5.B. Dans notre population

Chez 8 patients il était noté des troubles de la statique rachidienne sans que l'imputabilité de la RPF ne soit établie. En effet, six d'entre eux présentaient de troubles rachidiens préexistants et les mesures préventives habituelles avaient été réalisées (5/8 ont bénéficié d'un abord interlaminaire) (Tableau 17). Pour les autres patient, l'absence de données sur le statut rachidien pré-opératoire ne nous permet pas de conclure sur le rôle qu'a joué la RPF au niveau rachidien. En outre, deux patients étaient dystoniques (28% des dystoniques de notre population) ce qui pourrait favoriser les lombalgies et anomalies de la statique rachidienne.

La plupart de ces patients étaient GMFCS III, ce qui présage d'une bonne tenue de tronc et témoigne d'une marche avant la chirurgie. On peut donc émettre l'hypothèse que les cyphoses dorsolombaires préexistantes soient aggravées par la voie d'abord et le réclinement des muscles paravertébraux. En revanche il ne nous semble pas que la section radiculaire puisse expliquer les complications rachidiennes (bien que 5/8 enfants avaient leurs racines L2 D et G qui étaient sectionnées et qui répondaient sur le psoas et 7/8 étaient sectionnés en L3 avec des réponses sur les adducteurs pour tous, les droits antérieurs pour 4, et les moyens fessiers pour 1, les ischio-jambiers pour 1. Il faudrait corréler ces données au changement de mode de déambulation avant d'affirmer que la diminution de la spasticité des muscles sous-pelviens ait eu un retentissement sur la statique rachidienne).

Atteinte rachidienne	Age	Topog GMFCS	Voie d'abord	L1 G	L1 D	L2 G	L2 D	L3 G	L3 D	L4 G	L4 D	L5 G	L5 D	S1 G	S1 D	S2 G	S2 D
Lyse isthmique L4 D et G sur hémi-sacralisation L5 D et traité par corset plâtré puis arthrodèse L4-S1.	8,5	QS III	AIL L4 � S1									50%	50%	66%	66%		
Cyphose dorsolombaire, arthrodèse T10 L4 10 ans après la RPF	8,2	QS III	AIL L1L2 et L5S1			66%	66%	75%	66%					66%	50%		
Cyphoscoliose préopératoire, lame L4L5 empilées.																	
Majoration de la scoliose 25� cyphose 90� à 2 ans de la RPF. 42� de scoliose à 6 ans et cyphose descendant en L3.	9,4	QS V	AIL L1L2 et L2L3 + laminectomie L4 et L5			60%	60%	60%	60%	60%	50%			50%	50%		
Rachialgies transitoires, 2 ans de corset.	7,7	QS III	AIL L2L3 et L5S1			65%	65%	50%	50%			50%	50%	60%	60%		
Lombalgies et cyphose DL, corset temporaire.	6,8	DS III	AIL L2L3 et L4-S1					50%	50%			33%	33%	66%	66%	33%	33%
Douleur de la charnière DL. Spina bifida occulta L5.	11,9	Mixtes III	LP T11-L1			66%	66%	66%	66%			50%	50%	50%	50%	50%	50%
Cyphose dorsale de 25� en préopératoire, 35� à 4 ans de la RPF. Scoliose lombaire G de 19� à 4 ans.	7,9	DS III	LP L2-L5					70%	60%	40%	40%			60%	60%		
Scoliose thoraciques droite 28�, gibbosité 1.1cm.	7,6	QS IV	AIL L1-S1			50%	50%	66%	66%	50%	50%	66%	66%	75%	75%		

Tableau 17 : Complications rachidiennes mis en rapport avec l'âge, la voie d'abord et les niveaux de sections radiculaires effectuées. AIL : abord inter-lamaire élargi. LP : laminoplastie. DS : diplégique spastique. QS : quadriplégique spastique. DL : dorsolombaire. D : droite. G : gauche.

#### IV-E.3.5. Mesures préventives rachidiennes

Avant l'âge de 5 ans, la RPF serait associée à moins d'hyperlordose lombaire à 5 ans de suivi (144).

Pour tous les enfants, nous préconisons la réalisation systématique avant et après la RPF d'imagerie type EOS sur chaise radio-transparente. (C. Bérard recommande, dès qu'une anomalie est dépistée, une radiographie tous les 6-12 mois selon l'âge)(43).

Des modifications de voie d'abord ont été proposées en cas de troubles rachidiens préexistants par Sindou : prévention pas abords limités et fixation du volet en cas de laminotomies ostéoplastiques) (154). En pratique, lorsqu'il y a un risque rachidien, notre équipe chirurgicale privilégie la voie d'abord interlaminaire élargie. Dans notre population, 3 enfants qui étaient à risque rachidien (cyphose dorsales <30°, scoliose, spondylolyse L5S1) n'ont pas présenté d'aggravation en post-opératoire et ont bénéficié d'un abord interlaminaire élargi sur deux niveaux. Pour une enfant une greffe osseuse a été faite en fin de procédure le long de la colonne vertébrale.

#### IV-F. Indications à privilégier

A Lyon, l'indication chirurgicale est retenue en dernière intention pour des enfants d'un stade GMFCS supérieur ou égale à III et dont la spasticité diffuse aux membres inférieurs n'est plus contrôlée par les injections de toxine botulique (limitation de dose et diminution de la durée d'efficacité).

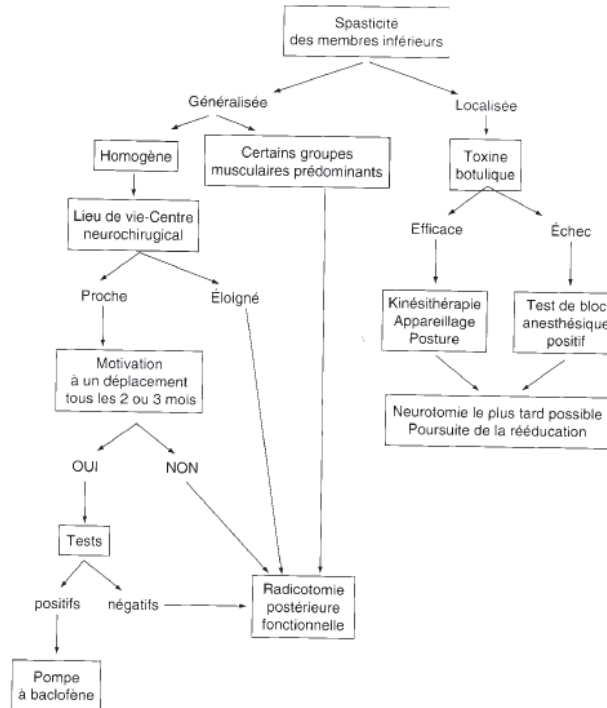


Figure 15 : arbre décisionnel pour une indication de traitement neurochirurgical de la spasticité des membres inférieurs selon Hodgkinson (136)

Dans les premiers articles, l'indication de RPF concernait plus volontiers les enfants les plus handicapés GMFCS III à IV (cf. Mac Laughlin Seattle (108) et les critères de l'University of Michigan Hospital and Health Systems (128)). Depuis 2018, la NHS réserve la RPF à des enfants PC âgés de 3-9 ans, diplégiques spastiques, ayant une force musculaire et des moyens financiers suffisants pour assurer une rééducation intensive en postopératoire, de stade GMFCS II ou III, sans pathologie génétique ni évolutive, sans lésions des zones de contrôle de la posture et de la coordination à l'IRM (ganglions de la base et cervelet), et dont la faiblesse musculaire n'empêche pas le maintien des postures antigravitaire, sans scoliose ni excentration de hanche >40% (Reimers). Les patients dystoniques sont exclus.

Les critères d'inclusion sont en fait variés dans la littérature et prennent compte différents facteurs :

##### IV-F.1. La topographie de l'atteinte

Pour plusieurs auteurs, le pronostic de marche après une RPF serait meilleur chez les patients diplégiques que quadriplégiques (136,161). Cependant ce type de distinction manque de sensibilité et de spécificité (24% des patients à qui on avait posé un diagnostic étaient changé en un autre type de paralysie cérébrale d'après Watt (117)) et a une reproductibilité inter observateur médiocre (162). Chicoine note que les enfants di/hémiplégiques spastiques ont des résultats bons voir excellents pour la marche alors que le pronostic de marche est mauvais pour les quadriplégiques (119). Kim montre que l'atteinte quadriplégique, la déambulation en fauteuil roulant sont des facteurs prédictifs de faible

efficacité de la RPF en analyse univariée (163). Notre population était majoritairement quadriplégique spastique (57%).

Concernant l'atteinte cérébrale, la présence d'anomalie de la substance blanche à l'IRM n'influe pas sur l'efficacité de la RPF sur la marche (164) mais les lésions des ganglions de la base (noyaux gris centraux) seraient associées à un pronostic clinique plus défavorable et surtout une dystonie surajoutée à la spasticité, qui, nous le verrons, répondrait moins bien à la RPF (165). Oudenhoven rapporte que la phase de rééducation post opératoire posera plus de difficultés aux enfants présentant des lésions thalamiques, des ganglions de la base, du cervelet ou du tronc cérébral (165).

#### IV-F.2. Le type d'hypertonie et d'atteinte cérébrale

La RPF n'est pas sensée corriger les hypertonies de type dystonique.

Pour rappel, la dystonie est une forme d'hypertonie définie par une activation musculaire involontaire à l'origine de posture anormales du cou, du tronc et des membres. Des lésions des ganglions de la base sont tenues pour responsables. La distinction clinique des hypertonies a une bonne reproductibilité intra-observateur mais une reproductibilité inter-observateur modérée (166). Les enfants dystoniques sont le plus souvent quadriplégiques spastiques(167).

Hodgkinson, Sindou et al. (136) rejoignent Peacock (161) en avançant que les résultats des RPF sont d'autant meilleurs que le handicap moteur de l'enfant est lié à un excès d'hypertonie de type spastique (et non dystonique).

Ainsi, dans notre population, une dystonie passée inaperçue a été démasquée, et aucune amélioration de la composante dystonique des 7 patients présentant une atteinte mixte n'a été améliorée. Van De Pol rapporte 9 cas similaire (sur 24 enfants) chez qui une dystonie était révélée dans les suites de la RPF. L'entourage de l'enfant avait tendance à être moins satisfait de la chirurgie. (168)

Notoirement, Ghany, dans une étude prospective de 5 enfants dystoniques et spastiques, montre, après une rhizotomie dorsale et ventrale une amélioration de la spasticité, de la dystonie et des amplitudes articulaires à 12 mois de l'intervention (169). La diminution de la dystonie pourrait être expliqué par la section de la racine ventrale qui interromprait la voie finale commune. L'auteur ne décrit pas d'affaiblissement musculaire.

Pour les 7 patients dystoniques de notre population, les cibles musculaires étaient pour tous adducteurs et ischio-jambiers, et pour 6/7 les droits antérieurs. Les améliorations des scores fonctionnels à 2 ans étaient discrètes : le GMFCS restait stable (dégradation transitoire à 6 mois pour un patient), seuls 2 patients amélioraient le stade du FAQ (de 1 à 2), et une amélioration du STC AB de la GMFM à 6 mois était relevée pour un patient (48%→ 63%). L'IDE n'avait pas été mesuré.

Les objectifs fonctionnels étaient quasiment tous atteints : objectifs de marche, améliorée pour 2/3 d'entre eux (aggravée pour 1/3), objectifs de station assise et de nursing qui était facilitée pour tous, 1 objectif antalgique non atteint (subluxation de hanche). En outre il était noté une facilitation des manipulations pour deux patients et une amélioration de l'état d'éveil et de la prise alimentaire pour un autre enfant. Trois patients dystoniques âgés de 8-10 ans, dont 1 marchant, ont bénéficié d'une chirurgie orthopédique mais sans geste fémoral ni tibial (principalement allongement tendineux des psoas, adducteurs, ischio-jambiers, une arthrodèse sous astragaliennne et médio-tarsienne et une neurotomie des obturateurs internes).Des sites musculaires toxinés ont pu être sevrés (psoas, triceps

sural, tibial postérieur, adducteurs, graciles) et, 2 patients ont pu arrêter le BACLOFENE (Baclofene->Valium + Artane et Baclofene+Modopar->Modopar seul). Trois patients ont poursuivi leur traitement par BACLOFENE.

Aucune complication grave n'a été rapportée sur cette population (méningocèle, syndrome post-PL, douleur cicatricielles, douleurs neuropathiques de la cheville G, affaiblissement des MI, tous résolutifs).

**En somme, la dystonie semble être un facteur pronostique de moins bons résultats de la RPF mais ne représente pas une contre-indication si une spasticité lui est associée. Les résultats sont sans doute sous-évalués par l'inadéquation des échelles de mesure utilisée et les objectifs de certains patients dystoniques.**

#### IV-F.3. Le stade GMFCS

Les études ([Annexe E- Tableau 30](#)) montrent des améliorations fonctionnelles supérieures pour les stades I et II. Viennent ensuite les stade III puis les stades IV.

Tedroff interprète ce résultat en rappelant que le risque de complications est plus important chez les enfants ayant une atteinte neurologique la plus importante ce qui pousserait l'auteur à réserver la RPF aux enfants ayant les meilleur fonctions motrices et cognitives (34).

Dans notre population, les enfants classés GMFCS V (n=4) n'étaient jamais scolarisés, étaient soit dystoniques soit quadriplégiques spastiques. L'objectif principal de la RPF était la facilitation des soins de nursing (100% de satisfaction), suivi de la station assise et des douleurs coxale.

Les cibles musculaires étaient surtout les adducteurs, les ischio-jambiers et les droits antérieurs.

La chirurgie se faisait entre 5-9 ans, sur 8-10 racines, avec section moyenne de 56% (comparable à la moyenne de la population totale).

Leurs stades FAQ était de 1 et n'était pas amélioré. Le stade GMFCS n'était pas amélioré. Le score total cible sur les items A et B de la GMFM était de 29% en pré-opératoire, sans données disponibles après la RPF. L'IDE n'était pas calculable.

Les objectifs d'amélioration de la station assise, de facilitation des soins de nursing étaient atteints mais pas l'objectif de douleurs (coxale) concernant un patient.

Ils recevaient tous des injections de toxine dans les adducteurs et les graciles et dans les 7mois à 3 ans après la RPF.

Deux enfants étaient concernés par des douleurs coxales : un a reçu des infiltrations de corticoïdes dans les 2 ans après la RPF et l'autre ayant bénéficié d'une butée de hanche 3 ans après la RPF.

Là encore, les objectifs fonctionnels ne sont pas quantifiés par les échelles fonctionnelles de notre étude et ne permettent pas de conclure que la chirurgie est moins efficace sur cette population d'enfants. A titre d'illustration, Mittal propose une correspondance d'objectif en fonction du stade GMFCS du patient montrant bien leur diversité (135).



Group	Preop Function	Postop Goals
I	walks w/out assistive devices	improve appearance & efficiency of walking
II	walks w/ assistive mobility devices (such as canes, crutches, walkers)	improve quality of walking & decrease amount of assistance required for ambulation
III	quadruped crawlers, reciprocal or nonreciprocal (such as bunny hoppers)	improve ability to move through development sequence; walk w/ assistive devices
IV	commando or belly crawlers; wheelchair bound	improve ease of care taking; facilitate function in sitting position
V	no locomotive abilities; fully dependent	improve ease of care taking; facilitate positioning in adaptive equipment

\* Based on the New York University classification system.

**Tableau 18 : Objectifs attendus après la RPF en fonction du GMFCS de départ.**  
Extrait de Mittal 2002 (135)

Il y a donc un besoin d'études adaptées aux objectifs de chaque patient pour mieux évaluer l'efficacité de la RPF (cf partie IV-G).

#### IV-F.4. Autres critères de sélection moteurs dans la littérature

Funk a montré de meilleurs résultats pour les enfants dont la GMFM pré-opératoire était entre 65-85% (97). Sont aussi pris en compte dans la décision chirurgicale : le schéma de marche (170) et plus précisément le score de marche (119), la force musculaire : (résultats d'autant meilleurs qu'il persiste une bonne force musculaire et une motricité résiduelle performante(154)).

#### IV-F.5. La déficience intellectuelle

La présence d'un déficit intellectuel est souvent corrélée à l'importance de l'atteinte (124) et joue un rôle important dans le processus de réhabilitation après la RPF (161). Les résultats seraient d'autant meilleurs selon Sindou que le coefficient intellectuel de l'enfant soit suffisant pour une coopération dans la rééducation(154). Pour Kim et le déficit intellectuel est un facteur de faible efficacité de la RPF (163).

Nordmark n'exclut pas les patients déficients intellectuels à condition qu'ils aient un moyen de locomotion, qu'ils interagissent bien dans les situations de traitement ludique(75) et que l'indication soit celle d'une spasticité qui interfère sérieusement avec le développement de leur fonction motrice et dans les soins quotidiens. En somme, le déterminant majeur est l'environnement familial et tout ce qui peut concourir à la bonne réalisation de la rééducation post opératoire (154). Un bref relevé de la littérature sur la rééducation dans les suites de la RPF est disponible en Annexe E.

Nous rejoignons ces auteurs, car sur notre cohorte 16% des enfants n'étaient pas scolarisé, 30% étaient en classe adaptée, soit au moins 46% d'enfant présentant une déficience intellectuelle, ce qui ne les a pas empêché d'améliorer leurs scores fonctionnels et surtout les objectifs de nursing, d'installation qui sont propres aux enfants les plus atteints. Aucune corrélation n'a été trouvée entre le type de scolarité et les résultats fonctionnels sur notre population.

#### IV-F.6. L'âge

L'âge recommandé est habituellement de 3 à 8 ans (108) (Annexe E – Tableau 30)

Après 3 ans :

- afin de comprendre la trajectoire motrice naturelle de l'enfant et d'attendre l'apparition d'une éventuelle dystonie (165). Cependant pour Steinbok la dystonie ne survient que vers 8 ans. Pour Park très peu de patients avaient une dystonie détectable avant la chirurgie et les auteurs ne pensent pas que la dystonie soit une raison valable de retarder la RPF (171).

- car les enfants seraient plus facilement motivés et impliqués dans la rééducation à cet âge préscolaire ou l'on peut centrer les apprentissages sur la locomotion (75).

Avant 6 ans, car l'hypothèse est émise que le remodelage des unités motrices, responsable de la spasticité (cf. introduction) se déroule à un âge précoce et qu'une chirurgie précoce préviendrait l'apparition de la spasticité, en particulier avant que ne s'installe la surexpression des molécules d'adhésion neuronales (180). A l'inverse, Tedroff rappelle que les stimuli sensoriels sont considérés comme essentiels à la consolidation et l'ajustement des connexions neuronales pendant le développement du système nerveux. Le feed-back sensoriel contribuerait à la force et la synchronisation de l'activité musculaire. De surcroît, les afférences Ia (responsable du contrôle sélectif présynaptique) contribueraient à l'acquisition de nouvelles capacités motrices et visuelles. L'auteur conclut que la RPF pourrait influencer négativement l'apprentissage moteur. Cette observation serait donc en faveur d'une chirurgie plus tardive (34).

Avant 10 ans car à cet âge la faiblesse et les déformations orthopédiques seront installées et la chirurgie orthopédique sera plus efficace que la RPF (97,106). O'Brien rapporte 34% de chirurgie orthopédique pour les enfants opérés d'une RPF entre 2-5 ans contre 70% pour les enfants opérés d'une RPF entre 6-14 ans (172). Certains auteurs avancent que les déformations de l'appareil locomoteur installées de manière irréversible sont un facteur de mauvais pronostic chirurgical, mais pour Steinbok et Kim l'amélioration est la même que les enfants aient bénéficié d'un geste chirurgical orthopédique avant la RPF ou non (133,173). Au niveau du rachis, un jeune âge est associée à un taux plus bas d'hyperlordose ou de déformations spinales (144,174). Il nous apparaît donc que la RPF serait plus efficace avant le pic pubertère qu'il faut savoir évaluer spécifiquement chez les enfants PC<sup>15</sup>.

En annexe, le diagramme de Georgioudis (Annexe F) intègre de façon intéressante la RPF dans une chronologie des interventions sur la spasticité des enfants PC.

#### Il n'y a pas d'âge pour la RPF ?

Pour Baker la RPF est généralement inappropriée dans la grande enfance et l'adolescence.(175) et une RPF un âge supérieur à 10 ans serait une contre-indication si l'objectif de la RPF est l'amélioration des performances motrices selon Mac Williams (106). En revanche selon Kim, l'âge ne doit pas être une contre-indication (dans sa population il n'est pas significativement corrélé au résultat) (163).

---

<sup>15</sup> Chez l'enfant PC les caractères sexuels secondaires n'apparaissent pas au même âge : la puberté commence plus précocement et finit plus tardivement chez les filles de stade GMFCS III à V (174). L'âge osseux semble une mesure plus fiable de détermination du stade de croissance que les stades de Tanner.

Pourtant l'efficacité de la RPF chez l'adulte a été montrée sur la spasticité (133,136,137), les amplitudes articulaires(171), de la motricité (177) , la qualité de marche (171,176,178), la GMFM (171) et les actes de la vie quotidienne (179). Cependant les lésions neurologiques des patients opérés diffèrent de celle de PC (lésions médullaires et AVC (52,177), atteintes traumatiques et neurodégénératives, scléroses en plaques (52)) et la RPF est parfois effectuée à l'étage cervical(177).

#### IV-G. Perspectives d'études et de suivi

##### IV-G.1. Besoins évoqués par les différentes équipes

###### IV-G.1.a. En termes de suivi de cohorte

Les recommandations de la National Institute for Health and Clinical Excellence (NICE) de 2012 (180), incitent les équipes réalisant des RPF à participer à un programme coordonné, national et agréé pour collecter les informations sur l'efficacité sur le court et le long terme de tous les patients candidats à une RPF, même si celle-ci n'est pas réalisée. Ce recueil devrait inclure des mesures nationalement définies incluant :

- le tonus musculaire,
- la GMFM,
- les déficits neurologiques,
- les déformations spinales,
- la qualité de vie,
- le besoin de chirurgie ultérieure.
- une mesure de l'expérience des patients et de leur famille en utilisant une méthode qualitative systématique pour limiter les biais (ce qui permettrait aussi de comprendre les décisions chirurgicales et leur impact)(93).
- une recueil du niveau d'aide et d'assistance plus précis (avec l'aide des proches et soignants)(128).

Il serait nécessaire d'avoir:

- des études comparatives avec des groupes contrôle et des programmes de réhabilitation comparables
- des échantillons plus importants.
- un suivi continu (au moins 5 ans) des patients ayant bénéficié d'une RPF car le déclin fonctionnel et du confort se poursuivent à l'âge adulte. (93,134).

###### IV-G.1.b. En termes de méta-analyse/revues de la littérature :

Pour les comparaisons entre études, il est important de considérer :

- les caractéristiques des différents échantillons,
- les stades GMFCS
- l'intervalle entre la RPF et l'évaluation et la RPF
- les perdus de vue. (75)

Selon Munger, pour mieux répondre à quel rôle joue le management de la spasticité (sur la marche, la qualité de vie, etc.) une comparaison multitraitements est nécessaire. Sans cela, le paradigme de l'élimination de la spasticité chez le paralyté cérébral doit continuer d'être investigué (57).

Les études cas témoins ne sont pas à ignorer compte tenu du recrutement difficile (180).

## IV-G.2. Echelles suggérées

### IV-G.2.a. Sur le plan neuromoteur

Pour la marche il aurait été intéressant de comparer les analyses quantifiées de la marche des enfants et les scores tels que le GGI (Gillette Gait Index, qui compare les courbes cinématiques de chaque membre par rapport à la norme –(84)) ou le GDI (Gait Deviation Index, plus sensible car n’incluant pas les paramètres spatiotemporels) (87,181).

Pour les déformations orthopédiques il serait intéressant de suivre les mesures suivantes : l’angle de Netter, les angles de Cobb et les mesures de lordose et cyphose lombaire, l’indice de Reimers, avant et après la RPF.

### IV-G.2.b. Sur le plan fonctionnel

Au vu des notes cliniques recueillies (auprès de la famille, des rééducateurs, des médecins et des chirurgiens), les échelles que nous avons choisies nous semblent inadaptées à l’évaluation de certains des bénéfices de la RPF, notamment pour les populations GMFCS V, ou les GMFCS IV non marchant, et présentant une hypertonie mixte (dystonique et spastique).

Pour la douleur on aurait pu recueillir les FPSR (Face Pain Scale Revised, adapté aux enfants dès l’âge de 4 ans – Hiks 2005(235)), les échelles numériques ou visuelles analogiques (EN et EVA) et pour nos patients non communicants la grille de Douleur Enfant de San Salvador (DESS, 40 items –(182)). Pour les douleurs de hanches chez les patients non communicants la PAICP (Pain Assessment Instrument for Cerebral Palsy, recueil du FPSR pour 22 situations dessinées et présentées à l’enfant (183) ) pourrait être utilisée.

Enfin, pour objectiver les améliorations fonctionnelles décrites par les parents, nous préconisons la réalisation systématique d’une GAS (Goal Attainment Scaling), pour les objectifs de la RPF. Cette échelle a l’avantage d’être adaptable aux objectifs individuels. Il s’agit de choisir un objectif principal à long terme et 3-5 sous-objectifs à court-terme que l’on pondère. Le niveau pré-opératoire sur l’objectif est noté puis réévalué aux échéances fixées. Le résultat est exprimé en notation de -2 à +2 sur chaque objectif ou bien le T-Score est calculé selon la formule de Kiresuk (184). La COPM (Canadian Occupational Performance Measure) ou Mesure Canadienne du Rendement Occupationnel (MCRO) est également recommandée par Novak (92).

Concernant les effets supra-segmentaires d’éveil et de prises alimentaires, des échelles de participation (M.I.F.-Môme, mesure d’indépendance fonctionnelle pour l’enfant (185)) et de qualité de vie (PEDs QL : Pediatric Quality of Life Inventory, pour les enfants de 5-18 ans (186)– 1374 citations sur Web of Science – traduction française validée pour le Canada) seraient intéressantes.

Nordmark propose la PEDI (Pediatric Evaluation of Disability Inventory - (79)) qui permet aussi d’avoir le point de vue des soignants et des parents et d’être un outil de rééducation permettant de définir des objectifs réalistes (Nordmark 2008).

Pour les effets supra-segmentaires d’amélioration des manipulations la MACS (Manual Ability Classification System, (187) 900 citations sur Web of Sciences) est utilisée dans notre centre.

Pour les signes fonctionnels urinaires: les troubles mictionnels doivent être décrits et le bilan urodynamique conduit selon les recommandations de l'ICCS (International Children's Continence Society). Nous n'avons pas trouvé d'échelle fonctionnelle (comme l'UPS Urinary Symptom Profile) validée pour les enfants ce qui est regrettable mais il serait

Nous proposons en annexe une grille d'évaluation des enfants candidats à une RPF.

## CONCLUSIONS

Ce travail rétrospectif porte sur 37 enfants Paralysés Cérébraux (PC) ayant bénéficié d'une Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle, nous avons évalué l'évolution de leurs habiletés motrices à deux ans de la chirurgie en utilisant les stades de Palisano (GMFCS), l'échelle du FAQ de Gillette, la Gross Motor Function Measure 88 (GMFM 88) et la mesure de l'indice de dépense énergétique (IDE).

La population étudiée comporte 28 garçons et 9 filles PC, âgés en moyenne de 8 ans au moment de la chirurgie (5-13 ans) présentant une quadriplégie spastique (60%), une diplégie spastique (25%) ou une atteinte mixte (20%). Avant la RPF ces enfants avaient été traités par injection de toxine botulique (92%), BACLOFENE per os (32%) et deux enfants avaient bénéficié de chirurgie correctrice.

Les niveaux fonctionnels des enfants avant la RPF étaient : GMFCS III (50%), IV (40%) et V (10%). Le stade médian du FAQ de Gillette était de 4 (principalement stade 3 et stade 5). Une partie des enfants dont l'objectif était les soins de nursing, la station assise et la verticalisation était évaluée par le score total cible (STC) A et B du GMFM avec un score préopératoire moyen de 40%. L'autre partie de la population avait un objectif de marche et était évaluée par le STC D et E de la GMFM avec une moyenne préopératoire de 27 %. Pour ces enfants, l'IDE préopératoire était de 5.9.

Les racines les plus sectionnées étaient L2, L3 et S1. Les sections oscillaient entre 30% et 80% avec une médiane de 50% sur l'ensemble des racines (quartiles 0.6-0.8). Les voies d'abord étaient un abord inter-lamaire élargi pour 2/3 des patients et une laminoplastie monobloc pour le tiers restant.

A deux ans de la RPF nous avons noté :

- Une amélioration significative des stades GMFCS pour 53% des enfants de stade IV en préopératoire, alors que les enfants de stade III et V restent stables.
- Une amélioration significative médiane de 2 points du FAQ de Gillette passant de 4 à 6, avec une amélioration maximale de 6 points.
- Pour les enfants dont l'objectif était la marche, une amélioration significative du STC dans les rubriques D et E de la GMFM de 8 points (passant de 27% à 35%). et une diminution non significative de l'IDE de 1.26 à 2 ans (10 enfants ont diminué leur écart à la norme).
- Pour les enfants dont les objectifs étaient les soins de nursing, une amélioration de 19% du STC dans les rubriques A et B de la GMFM à 6 mois pour les 3 enfants chez qui cette donnée était disponible.

Les objectifs de la RPF ont été majoritairement remplis. Pour tous les enfants dont les objectifs étaient l'amélioration de la marche, de leur capacité de verticalisation (notamment lors des transferts) ou l'amélioration de la posture, il était noté une amélioration dans les suites de la RPF. Les autres objectifs étaient l'amélioration des soins de nursing (facilités pour 92% des enfants concernés), la marche (améliorée pour 88% des enfants concernés) et les douleurs (diminuées pour 83% des enfants concernés). Il a par ailleurs été noté des effets bénéfiques supra-segmentaires chez 14% des enfants

(n=5). Cependant ces chiffres sont tirés des observations cliniques et n'ont pas de poids statistique. Un recueil systématique d'échelles adaptée à chacun de ces objectifs nous semble nécessaire pour évaluer justement l'efficacité de la RPF.

Ces résultats prometteurs sont à pondérer avec le taux d'effets indésirables rapportés pour 66% des enfants mais avec des séquelles uniquement pour 19% d'entre eux :

- (séquelles urologiques pour 2 enfants (5%): rétention chronique d'urine nécessitant un Mitrofanoff ou des hétéro-sondages urinaires ;
- séquelles rachidiennes pour 3 enfants (14%) : spondylolisthésis, cyphoscoliose.

D'autre part l'effet fonctionnel de la RPF sur le long terme (>2 ans) – qu'il soit bénéfique, neutre ou délétère – n'a pas été étudié sur notre population. Tout au plus nous avons noté que sur les 10 années de suivi disponibles, 54% des enfants ont subi une chirurgie orthopédique correctrice, tous sauf un patient (97%) ont reçu des injections de toxine botulique. Cependant les schémas d'injections ont été modifiés pour 91% des patients injectés avant la RPF (sevrage de certains sites). Il a aussi été rapporté dans les notes cliniques, une perte des bénéfices initiaux à 18-24 mois chez 30% des enfants opérés (n=11) et, bien que l'amélioration du stade GMFCS soit pérenne, les mesures d'IDE et de GMFM tendent à diminuer à 24 mois.

En somme, sur une population d'enfants PC de niveaux fonctionnels hétérogènes, la RPF a fait preuve d'efficacité fonctionnelle motrice sur le moyen terme (2 ans) mais avec un risque de complications à prendre en compte. Les résultats sur les enfants polyhandicapés, GMFCS IV et V sont prometteurs et ne représente pas une contre-indication de principe. Les effets bénéfiques fonctionnels sont probablement sous-évalués par l'inadéquation des échelles utilisées. Un recueil multi-centrique, sur le long terme, standardisé et surtout adapté aux objectifs de la chirurgie permettrait d'apprécier plus justement les effets de la RPF chez l'enfant PC.





Nom, prénom du candidat : FUSTIER Amélie

## CONCLUSIONS

Ce travail rétrospectif porte sur 36 enfants Paralysés Cérébraux (PC) ayant bénéficié d'une Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle. **Nous avons évalué l'évolution de leurs habiletés motrices à deux ans de la chirurgie en utilisant les stades de Palisano (GMFCS - Growth Motor Functional Scale), l'échelle du FAQ de Gillette (Functional Assessment Questionnaire), la Gross Motor Function Measure 88 (GMFM 88) et la mesure de l'indice de dépense énergétique (IDE).**

La population étudiée comporte 27 garçons et 9 filles PC, âgés en moyenne de 8 ans au moment de la chirurgie (5-13 ans) présentant une quadriplégie spastique (60%), une diplégie spastique (25%) ou une atteinte mixte (20%). Avant la RPF ces enfants avaient été traités par injection de TOXINE BOTULIQUE (92%), BACLOFENE per os (30%) et deux enfants avaient bénéficié de chirurgie correctrice.

Les niveaux fonctionnels des enfants avant la RPF étaient : GMFCS III (50%), IV (40%) et V (10%). Le stade médian du FAQ de Gillette était de 4 (principalement stade 3 et stade 5). Une partie des enfants dont l'objectif était les soins de nursing, la station assise et la verticalisation était évaluée par le score total cible (STC) A et B du GMFM avec un score préopératoire moyen de 40%. L'autre partie de la population avait un objectif de marche et était évaluée par le STC D et E de la GMFM avec une moyenne préopératoire de 27 %. Pour ces enfants, l'IDE préopératoire était de 5.9.

Les racines les plus sectionnées étaient L2, L3 et S1. Les sections oscillaient entre 30% et 80% avec une médiane de 50% sur l'ensemble des racines (quartiles 0.6-0.8). Les voies d'abord étaient un abord inter-lamaire élargi pour 2/3 des patients et une laminoplastie monobloc pour le tiers restant.

A deux ans de la RPF on a noté :

- Une **amélioration significative des stades GMFCS pour 60% des enfants de stade IV** en pré-opératoire, alors que les enfants de stade III et V restent stables.
- Une **amélioration significative médiane de 2 points du FAQ de Gillette passant de 4 à 6**, avec une amélioration maximale de 6 points.
- Pour les enfants dont l'objectif était la marche, **une amélioration significative du STC dans les rubriques D et E de la GMFM de 8 points** (passant de 27% à 35%) et **une diminution non significative de l'IDE de 1.26 à 2 ans** (10 enfants ont diminué leur écart à la norme).
- Pour les enfants dont les objectifs étaient les soins de nursing, une amélioration de 19% du STC dans les rubriques A et B de la GMFM à 6 mois pour les 3 enfants chez qui cette donnée était disponible.

Les objectifs de la RPF ont été majoritairement remplis. Pour tous les enfants dont les objectifs étaient l'amélioration de la marche, de leur capacité de verticalisation (notamment lors des





transferts) ou l'amélioration de la posture, il était noté une amélioration dans les suites de la RPF. Les autres objectifs étaient l'amélioration des soins de nursing (facilités pour 92% des enfants concernés), la marche (améliorée pour 88% des enfants concernés) et les douleurs (diminuées pour 83% des enfants concernés). Il a par ailleurs été rapporté des effets bénéfiques supra-segmentaires chez 14% des enfants (n=5). Cependant ces chiffres sont tirés des observations cliniques et n'ont pas de poids statistique. Un recueil systématique d'échelles adaptée à chacun de ces objectifs nous semble nécessaire pour évaluer justement l'efficacité de la RPF.

Ces résultats prometteurs sont à pondérer avec le taux d'effets indésirables rapportés pour 66% des enfants mais avec des séquelles uniquement pour 19% d'entre eux :

- séquelles urologiques pour 2 enfants (5%): rétention chronique d'urine nécessitant un dérivation urinaire continente (Mitrofanoff) ou des hétéro-sondages urinaires ;
- séquelles rachidiennes pour 3 enfants (14%) : spondylolisthésis, cyphoscoliose.

D'autre part, l'effet fonctionnel de la RPF sur le long terme (>2 ans) – qu'il soit bénéfique, neutre ou délétère – n'a pas été étudié sur notre population. Tout au plus, nous avons noté que sur les 10 années de suivi disponibles, 54% des enfants ont subi une chirurgie orthopédique correctrice et que tous les patients sauf un (97%) ont reçu des injections de TOXINE BOTULIQUE. Cependant les schémas d'injections ont été modifiés pour 91% des patients injectés avant la RPF (sevrage de certains sites). Il a aussi été rapporté dans les notes cliniques, une perte des bénéfices initiaux à 18-24 mois chez 30% des enfants opérés (n=11) et, bien que l'amélioration du stade GMFCS soit pérenne, les mesures d'IDE et de GMFM tendent à diminuer à 24 mois. L'évolution de la spasticité montre également une recrudescence de la spasticité dès 12 mois, mais qui reste inférieure au niveau de spasticité initial.

**En somme, sur une population d'enfants PC de niveaux fonctionnels hétérogènes, la RPF a fait preuve d'efficacité fonctionnelle motrice sur le moyen terme (2 ans) mais avec un risque de complications à prendre en compte. Les résultats sur les enfants polyhandicapés, GMFCS IV sont prometteurs et ne représente pas une contre-indication de principe. Les effets bénéfiques fonctionnels sont probablement sous-évalués par l'inadéquation des échelles utilisées. Un recueil multi-centrique, sur le long terme, standardisé et surtout adapté aux objectifs de la chirurgie permettrait d'apprécier plus justement les effets de la RPF chez l'enfant PC.**

**Le Président de la thèse,**

*Nom et Prénom du Président*

*Signature*

Dr Patrick HERTZ

**Vu :**

**Pour le Président de l'Université,**

**Le Doyen de l'UFR de Médecine Lyon Est**

**Professeur Gilles RODE**

Vu et permis d'imprimer  
Lyon, le **18 OCT. 2019**



## ANNEXES

### A. Echelles utilisées






	<p><b>GMFCS Level I</b></p> <p>Children walk indoors and outdoors and climb stairs without limitation. Children perform gross motor skills including running and jumping, but speed, balance and co-ordination are impaired.</p>
	<p><b>GMFCS Level II</b></p> <p>Children walk indoors and outdoors and climb stairs holding onto a railing but experience limitations walking on uneven surfaces and inclines and walking in crowds or confined spaces.</p>
	<p><b>GMFCS Level III</b></p> <p>Children walk indoors or outdoors on a level surface with an assistive mobility device. Children may climb stairs holding onto a railing. Children may propel a wheelchair manually or are transported when traveling for long distances or outdoors on uneven terrain.</p>
	<p><b>GMFCS Level IV</b></p> <p>Children may continue to walk for short distances on a walker or rely more on wheeled mobility at home and school and in the community.</p>
	<p><b>GMFCS Level V</b></p> <p>Physical impairment restricts voluntary control of movement and the ability to maintain antigravity head and trunk postures. All areas of motor function are limited. Children have no means of independent mobility and are transported.</p>

Figure 3 : Gross Motor Functional Scale (GMFCS)



1. Ne peut faire aucun pas quelle que soient les conditions. ....
2. Peut faire quelques pas avec l'aide d'une tierce personne. Ne supporte pas complètement le poids du corps sur les pieds. Ne marche pas de façon régulière. ....
3. Marche pendant les séances de rééducation mais non pour les déplacements habituels à l'intérieur du domicile. Nécessite habituellement l'aide d'une tierce personne. ....
4. Marche à l'intérieur du domicile mais lentement. N'utilise pas la marche comme mode de déplacement préférentiel au domicile (marche essentiellement en rééducation). ....
5. Marche plus de 5-15 mètres mais uniquement à l'intérieur du domicile ou de l'école. ....

(la marche à l'intérieur du domicile est le mode de déplacement habituel).

6. Marche plus 5-15 mètres à l'extérieur de la maison mais utilise habituellement un fauteuil roulant ou une poussette pour les déplacements en ville ou dans les espaces encombrés. ....
7. Marche à l'extérieur de la maison, pour se déplacer en ville, **mais** seulement sur terrains plats (ne peut négocier les trottoirs, terrains irréguliers et escaliers qu'avec l'aide d'une tierce personne). ....
8. Marche à l'extérieur de la maison , pour se déplacer en ville ; est capable de négocier trottoirs et terrains irréguliers en plus des terrains plats, mais habituellement nécessite une aide à minima ou la supervision d'une tierce personne par sécurité. ....
9. Marche à l'extérieur de la maison , pour se déplacer en ville ; se déplace facilement sur terrains plats, trottoirs et terrains irréguliers mais a de la difficulté ou nécessite une aide minime pour courir, grimper et/ou les escaliers. ....
10. Marche à l'extérieur de la maison, pour se déplacer en ville. Marche, court, grimpe sur terrains réguliers et irréguliers sans difficulté ni aide. ....

Score **Gillette** ..... | \_ | \_ |

Figure 4 : Stade du FAQ de Gillette

# EMFG

## RESUME DE COTATION

RUBRIQUE	CALCUL DES COTATIONS EN % PAR RUBRIQUE	ZONE CIBLE <small>indiquer en cochant X</small>
A. Couché et retournement	Total rubrique A = $\frac{45}{51} \times 100 = 88$ %	A. <input type="checkbox"/>
B. Position assise	Total rubrique B = $\frac{44}{50} \times 100 = 88$ %	B. <input type="checkbox"/>
C. Quatre pattes et à genoux	Total rubrique C = $\frac{2}{42} \times 100 = 5$ %	C. <input type="checkbox"/>
D. Station debout	Total rubrique D = $\frac{0}{39} \times 100 = 0$ %	D. <input type="checkbox"/>
E. Marche, course et saut	Total rubrique E = $\frac{0}{72} \times 100 = 0$ %	E. <input type="checkbox"/>
SCORE TOTAL	$= \frac{\%A + \%B + \%C + \%D + \%E}{\text{Nombre total de rubriques}}$ $= \frac{88 + 88 + 5 + 0 + 0}{5} = \frac{181}{5} = 36.2$ %	
SCORE TOTAL CIBLE	$= \frac{\text{Somme des cotations en \% pour chaque rubrique identifiée comme zone cible}}{\text{Nombre de zones cible}}$ $= \frac{88 + 88}{1} = 176$ %	

**GMFM-66 Gross Motor Ability Estimator Score<sup>1</sup>**

Score EMFG-66 = \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_  
intervalle de confiance 95 %

Score EMFG-66 précédent = \_\_\_\_\_ à \_\_\_\_\_  
intervalle de confiance 95 %

Evolution de l'EMFG-66 = \_\_\_\_\_

<sup>1</sup> À partir du logiciel Gross Motor Ability Estimator (GMACE)

Figure 4 bis : GMFM Gross Motor Functional Measure

## B. Rappel physiopathologique sur la spasticité

La spasticité est multifactorielle et correspond, pour résumer, à une dérégulation centrale au niveau spinal et supra-spinal des voies inhibitrices régulant l'activité des motoneurones alpha via l'interneurone inhibiteur (Figure 6).

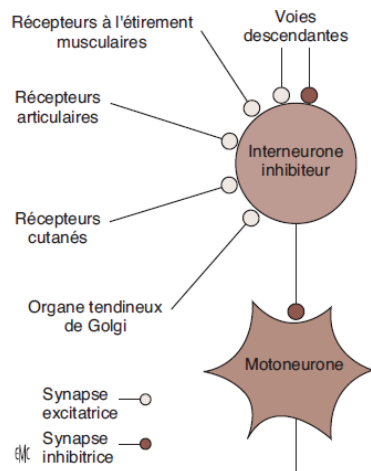


Figure 16 : Voies inhibitrices et excitatrices périphériques ascendantes et centrale descendante régulant les interneurons médullaires qui se projettent vers les motoneurones alpha. Extrait de Le Cavorzin 2013 (188)

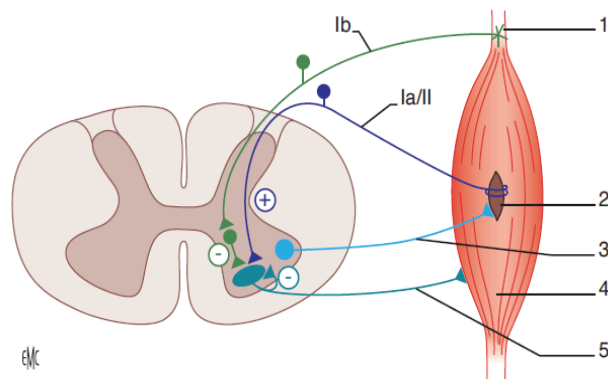


Figure 17 : Schématisation de la boucle réflexe myotatique. 1 : récepteurs tendineux, 2 : fuseaux neuromusculaires (FNM), 3 : motoneurone gamma (innervation motrice des FNM), 4 : récepteurs périphériques musculaires sensibles à l'étirement, 5 : motoneurone alpha. Ia/II et Ib : fibres afférentes se projetant sur les motoneurones alpha directement (en bleu) ou via un interneurone (en vert). Extrait de Le Cavorzin (188)

Les régions imputables sont celles responsables du contrôle du tonus musculaire :

- le cortex prémoteur,
- le faisceau para-pyramidal (notamment le bras antérieur de la capsule interne),
- le faisceau pyramidal (sa responsabilité est remise en cause, ce serait par sa proximité anatomique avec le faisceau para-pyramidal qu'il serait responsable de spasticité),
- le faisceau réticulo-spinal notamment le noyau ventro-médial gigantocellulaire de la formation réticulée bulbaire (lésions retrouvées dans les ataxies/paraparésies spastiques héréditaires où cette voie peut-être isolément atteinte).

Les lésions sous corticales diffuses (dans la sclérose en plaque par exemple) et les lésions médullaires (notamment la région dorsolatérale) sont également pourvoyeuses de spasticité.

Sont souvent inclus par excès dans la définition clinique de la spasticité les éléments d'automatisme médullaire que sont les spasmes en flexion et l'exagération des réflexes ostéotendineux en flexion («*general reflex release*»). Cet automatisme médullaire est responsable d'une variabilité clinique de mesure de la spasticité plus importante chez les patients blessés médullaires que chez les cérébrolésés.

Par ailleurs, une lésion médullaire complète donne un tableau de spasticité moins marqué que les lésions cérébrales, du fait de l'interruption concomitante de la voie réticulo-spinale descendante excitatrice et de la voie réticulo-spinale descendante inhibitrice. En revanche l'automatisme médullaire reste présent.

La spasticité apparaît chez l'homme généralement dans les semaines ou les mois suivant un AVC (189)). La spasticité serait la conséquence, selon Gracies (48,190), de trois mécanisme (Figure 8) :

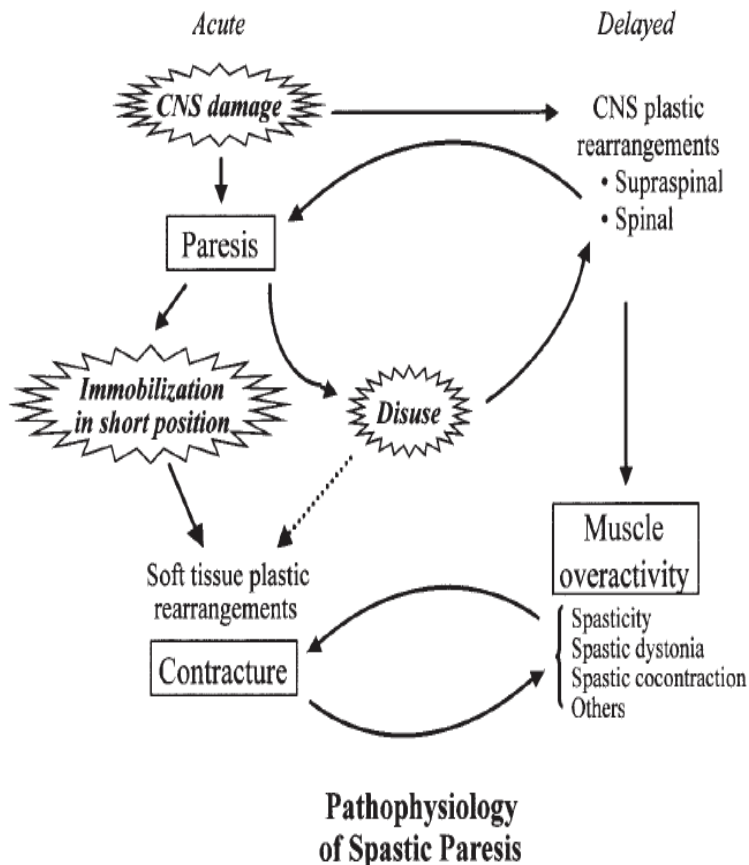


Figure 18 : Les trois mécanismes de déficit moteur après une lésion centrale selon Gracies 2005(190).

- l'immobilisation (représentée dans ce schéma par le bloc « *paresie* ») qui favorise par elle-même la plasticité cérébrale et les rétractions musculaires et articulaires.

- des réarrangements histologiques (bloc « *contracture* ») : on peut observer :

- une transformation des fibres musculaires rapides de type II en fibres musculaire lentes de type I (qui pourrait être due à la stimulation permanente des motoneurones - c'est l'hypothèse



transynaptique de Hufschmidt (191) – ou bien à la diminution du signal excitateur corticospinal (des fibres lésées) et du recrutement d'unité motrice - c'est l'hypothèse de Newham (192)).

- A l'échelle tissulaire on peut aussi observer, parfois dès la première année après une lésion cérébrale, une augmentation de la résistance élastique à l'étirement. Cette augmentation serait expliquée soit par l'hypothèse transynaptique, soit par une diminution du seuil de sensibilité à l'étirement des muscles, indépendamment de l'activité du motoneurone.

- d'une hyperactivation musculaire (bloc « *muscle overactivity* ») :

-par phénomène de bourgeonnement collatéral axonal médullaire (« *sprouting* », formation de synapses au niveau de l'espace vide segmentaire) et par réarrangement des fibres corticospinales sur des groupes de motoneurons inappropriés (193). Covault a ainsi montré une surexpression des molécules d'adhésion neuronale dans les fibres musculaires dénervées (194) .

-par hyperactivité neuronale des faisceaux vésibulo-, réticulo-, rubro- et tecto-spinaux intacts (Figure 9) conduisant ainsi à une perte de sélectivité motrice et des comportements moteurs exagérés (par exemple au niveau du coude après une lésion du faisceau corticospinal dorsal, DeWald met en évidence, par recueil EMG, des schémas de co-activation musculaire : fléchisseurs de coude-abducteurs d'épaule et extenseurs de coude-adducteurs d'épaule (195))

-par diminution de l'inhibition pré-synaptique au sein du circuit spinal : des afférences Ia (196), elle-même facilitée par l'augmentation de l'inhibition récurrente de Renshaw (197), par conversion de l'inhibition autogénique Ib en facilitation (198) (fibres se projetant sur les organes tendineux de Golgi et responsables physiologiquement du réflexe myotatique inverse),

-par une hyperexcitabilité des motoneurons segmentaires alpha et gamma (199).

A noter que le phénomène de *sprouting*, retrouvé sur des modèles murins dont les voies corticospinales motrice étaient interrompues, est aboli en cas de lésion combinée des faisceaux corticospinaux ventraux et dorsaux.(200)

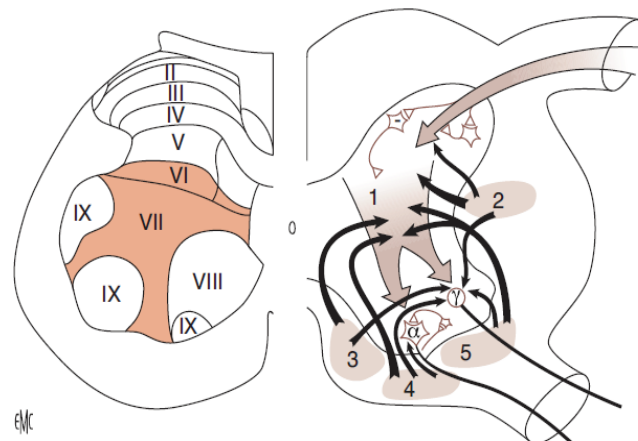


Figure 19 : Neuroanatomie du contrôle spinal du tonus musculaire. 1 : interneurons, 2 : faisceau rubro-spinal, 3 : faisceau réticulo-spinal pontique, 4 : faisceau vésibulo-spinal, 5 : faisceau réticulo-spinal bulbaire. En rouge : les couches de Rexed dans lesquelles se situent les interneurons participant au réflexe d'étirement. Extrait de : Le Cavorzin 2013 (188)

A-

### C. Evolution technique de la RPF

Concernant la voie d'abord : Gros maintient une voie d'abord cônica (exposant le cône médullaire) en effectuant une laminectomie T11-L1 en décubitus latéral. Il sera suivi par Fasano puis Park (laminectomie T12-L1/2 après contrôle échographique per-opératoire du cône médullaire). Peacock a introduit une voie d'abord caudale (au niveau de la queue de cheval) dont le but était de diminuer les effets indésirables uro-digestifs. Elle se faisait initialement par laminectomie L2-L5 (pour les racines L2-S1), puis par laminotomie avec repose des lames et fixation des muscles para-vertébraux (laminoplastie). Il a été suivi par Sindou qui a finalement développé une voie d'abord moins invasive centrée sur les niveaux radiculaires ciblés visant à diminuer les lésions ligamentaires). La technique nommée KIDr (Keyhole Intralaminar Dorsal Rhizotomy) est un abord foraminaire, interlaminaire étagé, avec résection des 2/3 des lames supérieures et inférieures du niveau ciblé, tout en respectant les ligaments épineux et interépineux et les processus articulaires (85).

Concernant le monitoring électromyographique (EMG) : Foerster effectuait initialement une stimulation motrice ventrale pour s'assurer du niveau anatomique des racines puis coupait systématiquement les racines dorsales de T12 à S2 en épargnant L4 (55,128).

Gros ne sectionnait que les racines dorsales ayant une réponse EMG (stimulation 1V, 1msec, 4Hz).

Fasano (55) décrit les caractéristiques électrophysiologiques des racines dorsales responsables de spasticité à cibler : réponse soutenue à la stimulation bipolaire de la racine dorsale (stimulation de 1 seconde à 1mA, fréquence 50Hz) ou extension de la réponse en dehors du myotome correspondant à la racine stimulée (ipsi ou controlatérale) (2). Dans cette technique, chaque racine est disséquée en fascicules stimulés séparément. Sindou, Peacock et Park suivront les critères électrophysiologiques de Fasano pour le choix des racines à sectionner. On doit le terme de « Radicotomie Postérieure Fonctionnelle » à Fasano.

A noter que Grunt (35), en s'appuyant notamment sur les travaux histologiques de Fukuhara (201,202), met en garde contre la dissection fasciculaire des racines, qui conduit à des aberrations électrophysiologiques, ce que notre équipe neurochirurgicale ne fait plus.

Abbott introduit le monitoring du plexus pudendal par stimulation du nerf dorsal de la verge ou du clitoris et recueil des potentiels d'action au niveau de S1, S2 et S3 (57,58).

Concernant le niveau des sections radiculaires :

Les premières rhizotomies concernaient de manière systématique et bilatérale les racines T12 à S2 puis L1 à S1.

L'équipe de neurochirurgie de Montpellier (équipe de Gros (130)) développe la « Radicotomie Dorsale Sectorielle » ou « Rhizotomie Postérieure Sélective », pour épargner les muscles anti-gravitaires.

Le choix des racines sectionnées se fait après un bilan clinique évaluant la spasticité utile au tonus postural (moyens fessiers, quadriceps, abdominaux) et la spasticité nuisible (adducteurs de hanches, fléchisseurs de hanche et de genou, muscles de la loge postérieure de la jambe). L'étude des réponses motrices provoquées par stimulation mono/bi/tripolaire (préférentiellement bi ou tripolaire) des racines, sous anesthésie générale, intervient également dans ce choix.

Gros épargnait par ailleurs les racines ayant une réponse motrice sur les triceps suraux (Gros 1979).

Langerak épargne les racines répondant au niveau du quadriceps et du tibial antérieur, quitte à effectuer une neurotomie complémentaire à distance de la RPF. Dans ce même but, Fukuhara (202) ne coupe jamais au-delà de 50% les racines L2, L3 et L4.

Peacock épargnait S2 si celle-ci donnait une réponse au niveau du sphincter anal (même si elle répondait au niveau du triceps sural).

Pour l'équipe de neurochirurgiens à l'origine de notre étude (Sindou, Mertens (58)) il n'y a jamais de section de la racine S3 pour éviter une anesthésie périnéale mais il y a parfois une section de S2 à visée urinaire (enfant présentant une hyperactivité detrusorienne).

#### Concernant l'intensité de section :

Gros commença par épargner une radicelle par racine dorsale pour diminuer l'effet hypotonisant puis, préserva systématiquement 1/5 des racines dorsales.

Ouaknine développe par la suite une technique microchirurgicale permettant de réséquer uniquement 1/2 à 2/3 des racines de L1 à S1. Il parle lui aussi de « Résection Radiculaire Postérieure Sélective » (50).

Fraioli et Guidetti développent une technique pour sectionner 50% de la racine, quelques mm avant son entrée dans le sillon dorso-latéral médullaire et donne à cette technique le nom de « Radicotomie Dorsale Partielle » (203).

La plupart des auteurs s'accordent pour estimer qu'une radicotomie efficace à long terme sectionne globalement 40-60% de l'ensemble de radicelles dorsales des racines de L2 à S2, que cette section soit faite systématiquement sur les radicelles ou après testing électrophysiologique de chacune des radicelles. (58)

#### D. Rééducation post-opératoire

La rééducation proposée dans notre étude diffère par certain aspect de celles relevées dans la littérature :

Selon le NICE (National Institute for Health and Clinical Excellence) l'intensification de la rééducation est indispensable et conditionne les résultats de la RPF. La récupération est généralement rapide après la chirurgie en cas de voie d'abord uni-étagée et la rééducation commence après 2-3 jours d'alitement, à raison de 2 séances par jour de kinésithérapie et d'ergothérapie. Selon les auteurs, elle doit se faire à ce rythme en centre adaptée pendant 3 – 6 semaines (115,181,204). Un relai libéral est effectué avec la poursuite d'une kinésithérapie à un rythme intensif de 3-5 séances/semaine pendant une durée adaptée aux capacités et aux progrès de l'enfant (entre 4-12 mois).

La rééducation est axée sur le renforcement musculaire (surtout les abducteurs de hanche, extenseurs de genoux et fléchisseurs dorsaux de cheville(204), les fonctions motrices fines, de manière analytiques et à travers les actes de la vie quotidienne (en ergothérapie). Le schéma de marche est travaillé dès la deuxième ou troisième semaine selon Nicolini-Palissou (204). De nouvelles orthèses peuvent être confectionnées.

## E. Tableaux récapitulatifs des données de la littérature

<i>Children</i> <i>&lt;6y old</i>	<i>Last rating</i>					<i>Total</i>
	<i>Level I</i>	<i>Level II</i>	<i>Level III</i>	<i>Level IV</i>	<i>Level V</i>	
<i>First rating</i>						
Level I	59	1	0	1	0	61
Level II	3	15	13	2	0	33
Level III	2	5	24	6	0	37
Level IV	0	1	8	32	7	48
Level V	0	0	0	4	35	39
Total	64	22	45	45	42	218

Per cent agreement, 75.7%; weighted kappa, 0.84.

<i>Children</i> <i>≥6y old</i>	<i>Last rating</i>					<i>Total</i>
	<i>Level I</i>	<i>Level II</i>	<i>Level III</i>	<i>Level IV</i>	<i>Level V</i>	
<i>First rating</i>						
Level I	99	5	1	0	0	105
Level II	15	27	2	0	0	44
Level III	3	7	57	10	2	79
Level IV	0	0	3	67	10	80
Level V	0	0	2	7	75	84
Total	117	39	65	84	87	392

Per cent agreement, 82.9%; weighted kappa, 0.89.

Tableau 19 : GMFCS en pré-opératoire et à la dernière évaluation (moyenne 33 mois) de la RPF pour 610 enfants classé selon l'âge (<6 ans ou ≥6 ans). Extrait de Palisano 2006 (205).

<b>Patients améliorés (IV-&gt;III)</b>	<b>Age au moment de la RPF (années)</b>
PAT 34	5,65
PAT 20	5,79
PAT 12	6,36
PAT 4	7,57
PAT 36	10,44
PAT 14	10,86
PAT 24	12,71

Tableau 20 : Répartition des âges au moment de la RPF chez les patients ayant amélioré leur stade GMFCS en post-opératoire.

Auteurs	V->IV	IV->III	III->II	II->I	autre	Amélioration GMFCS totale
<b>Sur le court terme, données approximées (pas de GMFCS)</b>						
Mac Laughlin 1994 (206)	12% (n=4)		3% (n=1)			15%
Wright 1998 (68)	4% (n=1)	13% (n=3)	4% (n=1)			21%
Graubert 2000 (90)	11% (n=2)		11% (n=2)			22%
Ross 2001 (207)	5% (n=1)	10% (n=2)	10% (n=2)			25%
Steinbok 1997 (69)	13% (n=2)	13% (n=2)	7% (n=1)			33%
Mac Laughlin 1998 (70)	non précisé					38%
					<b>Moyenne</b>	<b>26%</b>
<b>Sur le court terme, données brutes</b>						
Van Schie 2005 (208)			11% (n=1)			11%
Kan 2008 (209)	non précisé : 49% améliorés d'un stade et 8% améliorés de deux stades					57%
Cole 2007 (91)		16% (n=3)	21% (n=4)	32% (6)	<b>III-&gt;I (n=1)</b>	69%
					<b>Moyenne</b>	<b>46%</b>
<b>Sur le long terme, données brutes</b>						
Romei 2018 (101)				11% (n=2)		11%
Ailon 2015 (82)	non précisé : 23% amélioré sur 1 ou <b>2 niveaux</b> (surtout III->II)					23%
Park 2017 (111)	non précisé					42%
Daunter 2017 (128)	non précisé					56%
Munger 2017 (93)	non précisé (n=5)					56%
Langerak 2012 (76)			10%	45%	<b>3% (n=1) III-&gt;I</b>	58%
Langerak 2009 (98)	71% améliorés à 20 ans					71%
					<b>Moyenne</b>	<b>45%</b>

Tableau 21 : Amélioration des stade GMFCS relevées dans la littérature sur le court et le long terme (fréquence).

Auteurs, année	Amélioration de la GMFM						Type d'étude	Précisions
	à 1 an	à 2 ans	à 3 ans	à 5 ans	à 10 ans	à 15 ans		
Mc Laughlin 2002 (108)	4,5						Métanalyse de 3 ERC	D= 9-12 mois
Buckon 2004(71)		7,4					ERC	
Summers 2019 (74)	2,3	4,6					ERC	N= 137. D=24 mois
Nordmark 2000 (CDE) (134)	9,2			9,2				Aucune amélioration pour les GMFCS III-IV. N=18. GMFM stable à 5 ans.
Hodgkinson 1997(129)	3,2							N=8
van Schie 2005 (208)	8,8							
Funk 2014(97)	5,0	2,0						N=54, items D et E : +14% et +5%
Engsberg 2006(96)		7,0					EC	N= 37 RPF vs 40 ctrl
Mittal 2002(135)	10,0		20,0		34,0			Population marchante
Abel 2005(210)		3,3					EC	N=10 RPF vs x ctrl. Groupe controle +2.7 %
Josenby 2009(66)	11,0		15,0	20,0				N= 29 ans. Ages de 4 ans.
Josenby 2012(72)					10.6		Percentile	N=29, age 4 ans.
Bolster 2013(73)				7,6	6.4		Percentile	N=29. Amélioration du percentile pour les GMFCS III. Pas d'infériorité pour les autres.
Mac Williams 2011(106)	A 1 an : Diminution de l'écart au centile de référence de 4 – 74 points.						EC	RPF vs Chirurgie ortho vs Kiné. Age 14 ans, GMFCS I, II.
Tedroff 2011(83)	15,0		25,0		11,0			N=19. GMCS IV majoritaires
van Schie 2011 (211)	4,3			6,5				N=33.
Dudley 2013 (138)					15,0		25	N=102 (57 à 10 ans, 14 à 15 ans). Plateau à 10 ans en stratifiant sur l'âge.
Tedroff 2015 (77)			25,0	12,0		8,0		N=18. Pas de différence significative à 10 et 17 ans.
Ailon 2015 (82)	35,0				19			N= 44. Pour les GMFCS IV-V la fonction décline moins que le niveau de départ à 10 ans de suivi (vs II-III)
Sacco 2000 (212)							7	N=10. D +5.3%, E +9.2%.
<b>Moyenne</b>	<b>9,8</b>	<b>4,9</b>	<b>21,3</b>	<b>11,9</b>	<b>19,8</b>	<b>8,0</b>	<b>16,1</b>	
<b>Limites</b>	<b>2,3-35</b>	<b>2-7,4</b>	<b>20-25</b>	<b>6,5-12</b>	<b>11-34</b>		<b>7-25</b>	
<b>SD</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>10</b>		<b>13</b>	

Tableau 22 : amélioration des GMFM sur le court et long terme dans la littérature. ERC : essai randomisé contrôle ; EC : essai contrôlé ; Percentile : étude comparant les valeurs GMFM au percentile. En bleu les ERC.

Auteur, année	Evolution de la spasticité	ROM	Population (n=)	Durée de suivi	Type d'étude
Sur le moyen terme					
Engsberg 2002 (213)	Diminution sur les ADD (mesure mécanisée) mais reste > population ordinaire.		24	8 mois	EC (sujets sains)
Steinbok 1997 (42)	Diminution sur les ADD (-1,4), les IJ (-1,1) et les TS (-1,5)		15	9 mois	ERC
Kan 2007 (209)	Diminution de -2,52 (mAS)	Augmentée (H, G, C)	71	12 mois	EC (pompe à BACLOFENE)
Sacco 2000 (43)	Entre -0,7 et -2,9 sur les ADD, IJ, TS et Quadriceps		10	12 mois	Cohorte
Carroll 1998 (127)	Diminution.		112	12 mois	Cohorte
Hodgkinson 1997 (44)	Entre -0,63 et -1,38 (non mAS)		18	12 mois	Cohorte
Morota 1994 (44)	Diminution TS (-2,17 ; -2,42) et IJ (-1,4; -1,68)		109	12 mois	Cohorte
Mc Laughlin 1994	Diminution sur les ADD, IJ, TS, Quadriceps entre (-1; -2). Également diminution discrètes aux MS.		34	12 mois	Cohorte
Sindou 2015 (85)	Diminution (-1,-4)		6	12 mois	Cohorte
Funk 2014 (32)	Diminution de -1 pts, stable à 24 mois		54	12 et 24 mois	Cohorte
D'Aquino 2018 (214)	Diminution de -3.2 points stable à 2, 8 et 14 mois		54	14 mois	Cohorte
Trost 2008 (34)	Diminution sur les ADD, IJ, QUADRI, Fléchisseurs de hanche		136	18 mois	Cohorte
Engsberg 2007 (96)	Diminution sur les ADD, IJ, TS		68	20 mois	EC
Mc Laughlin 1998 (70)	Diminution de -1 à 12 et 24 mois		43	24 mois	ERC
Wright 1998 (68)	Diminution de -1 pt sur le genou et -0,5 sur la cheville (muscles non précisés)		12	24 mois	ERC
Thomas 2004 (95)	Diminution sur les ADD et IJ (-2) et les TS et Quadriceps (-1)		18	2 ans	EC (chirurgie orthopédique)
Sur le long terme					
Nordmark 2008 (134)	Diminution sur les ADD, IJ, TS, stable à 5 ans		35	6 mois puis 5 ans	Cohorte
Van Schie 2011 (211)	Seulement 21% de spasticité résiduelle à 6 ans		33	6 ans	Cohorte
Munger 2017 <sup>16</sup> (94)	Diminution (-1,-2)		24	10 ans	EC
Josenby 2012 (72)	Diminution sur les ADD, IJ, TS, fléchisseurs de hanche (mAS de Peacock)	Pas d'amélioration	29	10 ans	Cohorte
Tedroff 2011(83)	Diminution à 3 ans de (-1; -2) et à 10 diminution sur les IJ, TS (de -1;-3) significative sur les ADD (-2)	Amélioration à 3 ans puis déclin à 10 ans	19	10 ans	Cohorte
Park 2018 (5)	Diminution moyenne au membres inférieurs de 2.3 (2.3->0.007)		13	13 ans	Cohorte
Ailon 2015 (82)	Diminution -1,05 à 6 mois et -0,8 à 15 ans	Amélioration à 5 ans puis déclin à 15 ans (niveau initial)	44	15 ans	Cohorte

EC : essai contrôlé ; ERC : essai randomisé contrôlé ; ADD : adducteurs, IJ : ischio-jambiers ; TS : triceps suraux ; QUADRI : quadriceps

Tableau 23 – Revue des articles relevant l'évolution de la spasticité après une RPF

<sup>16</sup> Dans l'étude de Munger(94) tous les scores d'Aschworth étaient diminués (entre -1 et -2 pts) dans le groupe RPF alors qu'ils ne diminuaient pas dans le groupe contrôle malgré les autres traitements (toxine et pompe à BACLOFENE intrathécal). Soit ces traitements alternatifs (TBX et ITB) n'étaient pas efficaces, soit le niveau de base de la mAS était trop bas pour montrer une différence.



Auteurs	Proportion d'enfants toxinés après la RPF	Précisions
Bolster 2013(73)	45%	Suivi : 10 ans. Surtout gastrocnémiens.
Dudley 2013(138)	12.5%	N=88. Suivi : 15 ans.
Hurvitz 2013 (128)	53%	N= 88. Suivi : 20 ans
Mittal 2002 (135)	49%	N=41. Aucune injection dans l'année suivant la RPF. Suivi 3 et 5 ans. surtout les triceps suraux et les ischio-jambiers.
Munger 2017 (93)	7.5 injections/enfant opéré contre 19/enfant non opéré	N=24.

Tableau 24 : Proportion d'enfants opérés recevant des injections de toxine dans les années suivant la RPF.

Auteurs	Proportion	Sites les plus fréquents	Délai après la RPF	Précisions
<b>Chicoine 1997</b> (119)	19%			N= 178
<b>Mittal 2002</b> (135)	21%	Transfert tibial postérieur ténotomies d'Achille, des ADD, des IJ, des psoas, ostéotomie fémorale, AST	Jamais avant 1 an, 10% avant 3 ans	N=57..
<b>Bolster 2013</b> (73)	21%	AST (36%), des dérotations tibiales (14%), des myoténatomies des gastrocnémiens (6%) et 3 réductions de subluxation coxale (8%)	Entre 2 - 9 ans.	N= 36. Age moyen de la RPF : 2.5 ans. Surtout les GMFCS III.
<b>Dudley 2013</b> (138)	28%	17% de ténotomies, 14% de gestes osseux	Suivi 15 ans	N=102. Age moyen de la RPF 5 ans (pour tous<10.5ans).
<b>Nordmark 2008</b> (75)	42%	AST et ténotomies d'Achille	Suivie de 5 ans	N=35.
<b>Subramanian 1998</b> (139)	45%	3 ostéotomies tarsiennes et ténotomie des fléchisseurs d'orteils, 2 allongements des ischio-jambiers, 1 ténotomie d'Achille	Suivi de 5 ans	N= 11.
<b>Ailon 2015</b> (82)	52%		Suivi 15 ans	N=44. Age de la RPF : 5 ans.
<b>Josenby 2012</b> (72)	55%	pied (35%) puis hanche et genou	Suivi de 10 ans	
<b>Park 2017</b> (142)	57%	24% au niveau des hanches, 31% au niveau des IJ, 16-18% ténotomie d'Achille, des ADD et dérotation fémorale et 8% au niveau des genoux	Suivi 20-28 ans	N=95..
<b>Romei 2018</b> (101)	58%	Principalement AST, ostéotomie de dérotation tibiale	Entre 2-5 ans et 5-10 ans.	N=19. . Age de la RPF : 6.6 ans.
<b>Langerak 2009, 2012</b> (76,98)	64%		A 20 ans	
<b>Carroll 1998</b> (127)	65%	37% AST et 25% : réduction de subluxation coxale		N=112.
<b>Steinbok 2007</b> <sup>17</sup> (167)	65%			revue
<b>Hurvitz 2013</b> (110)	74%	36% au niveau de la hanche et 63% d'élongation tendineuse	A 20 ans	N=88.
<b>O'Brien 2004</b> (172)	81%	Ténotomies IJ pour les enfants opérés entre 6-14 ans et de chirurgies de subluxation de hanche et de dérotation fémorale pour les enfants opérés entre 2-5 ans	Suivi 5 ans.	N=35, quadriplégiques.
<b>Tedroff 2011</b> (83)	84%		Entre 1-5 ans.	N=19. moyenne de 3 procédures/enfant.
<b>Munger 2017</b> <sup>18</sup> (93)	96%			N=24. les enfants opérés ont moins de geste orthopédiques après la RPF (10.7 os ou muscles opérés/enfant vs 13.6/enfants dans le groupe contrôle
<b>Moyenne</b>	<b>55%</b>			

Tableau 25 : Articles relevant l'occurrence de chirurgie orthopédique (« Proportion ») après la RPF. ADD: adducteur, IJ: ischio-jambiers, AST: arthodèse sous-tallienne.

<sup>17</sup> **Steinbok 2007** sur une revue de **Arens 1989, Marty 1995 et Carroll 1998** rapporte 65% de chirurgie orthopédique après une RPF. L'auteur, supposant que chez les enfants candidat pour une RPF les interventions orthopédiques auront de toute façon été nécessaire, la RPF diminuerait de 35% le taux de chirurgie orthopédique.

<sup>18</sup> **Munger 2017** sur une cohorte de 24 enfants rétrospectivement assignés à 11 enfants PC non opérés, note que tous les participants sans RPF et 23/24 avec RPF ont eu au moins une intervention mais les enfants opérés ont moins de gestes orthopédiques après la RPF (10.7 os ou muscles opérés/enfant vs 13.6/enfants dans le groupe contrôle - et moins de phénolesation 0.4 vs 2.7/enfant). Cependant l'auteur n'exprime pas les résultats en occurrence de chirurgie indépendamment du nombre de gestes effectués au cours d'une même chirurgie, ce qui aurait un intérêt clinique non négligeable. Ces résultats sont peut-être biaisés par le fait que les enfants ayant bénéficié d'une RPF avaient reçus plus d'interventions orthopédiques avant la RPF (10.8 chirurgie orthopédique en moyenne contre 13.5 dans le groupe contrôle assigné rétrospectivement).

Auteurs, années	Hypoesthésies (fréquence)	Autres troubles sensitifs rapportés (et fréquences)	Délai de récupération
Steinbok 1998((215))	8.9%	dysesthésies,	19 mois
Nordmark 2008 (75)	n=1, hypoesthésie (à l'origine d'escarre)	8,6% de dysesthésies	3 semaines
Van Schie 2005 (172)	11%	1 cas d'hyperesthésie durable	Résolutive
Hodgkinson 1997 (129)	11%		NR
Tedroff 2011 (83)	0%	52% hyperesthésie des pieds	Quelques semaines ou années
Abbott 1992(145)	2% : hypoesthésie proprioceptive (orteils, thermoalgique/épicritique limitées à un dermatome (S1 ou L2 respectivement)	40% dysesthésie aux membres inférieurs	Hypoesthésie stable à 1 ans, dysesthésie résolutive en 1 mois
Grootveld 2016 (216)		Hyperesthésie et dysesthésie plantaires (étude sur 3 cas) responsable de chutes	Résolutif sous GABAPENTINE
Park 2017 (142)		13%	NR

Tableau 27 : Articles rapportant des troubles sensitifs dans les suites d'une RPF (% de la population étudiée). NR : non renseigné.

Auteurs, années	Scolioses/cyphoses/hyperlordose	Spondylolisthésis	Autre	Traitement
Steinbok 1998 (215)		1.3% (dont 1 enfant avec radiculalgies et qui n'avait pas eu de remplacement des lames L4L5 et S1.)	7.6% rachialgies,	
Hodgkinson 1997(129)	5.5% : cyphose			
Golan 2007(174)	45%	19%		Aucun
Nordmark 2008(75)	14% de scoliose (Cobb 11-23°), 11% d'hyperlordose lombaire	9% (3% douloureux)		Aucun
Park 2017(142)	31%			30% de corset, 3% arthrodésés
Ravindra 2017(217)	scolioses			
Langerak 2009 (98)			CLE	
Langerak 2007(102)		spondylolisthésis		
Bolster 2013 (73)	3.5% de scoliose (Cobb 21°)	1 spondylolyse , 1 spondylolisthésis L3/L4 (<25%)		

Tableau 27 : Articles rapportant des troubles de la statique rachidienne dans les suites d'une RPF (% de la population étudiée). CLE : canal lombaire étroit.

Auteur	Patients améliorés (stade GMFCS)	Patients les moins améliorés (stade GMFCS)	Détails
Oudenhoven (164)	I et II	III	marche, n=36
Nordmark 2008(134)	I et II		GMFM, n=18, 5 ans de suivi
Ailon 2015(82)	II et III	IV et V	n=44
Tedroff	I et II (stable)	IV et V (déclin)	Après 3 ans
Bolster 2013 (73)	III		5 et 10 ans
Josenby 2012(72)	I et II	III et IV	GMFM, n=29
Dudley 2013 (138)	I et II	III et IV	
Graham 2016 (115)	I et II	III et IV	
Hurvitz 2013 (110)	I et II	III et IV	
Summers 2019 <sup>19</sup> (74)	III (centile) ou II (valeur absolue)	II (centile) ou III (valeur absolue)	
Romei 2018 (101)	I et II	III	EVGS
Nordmark 2000 (75)	II et III	IV et V	n=18
Kim 2006 (163)	Les stade IV et V ne sont pas prédictifs du résultat de la RPF		

Tableau 29 : Stade GMFCS de meilleur pronostic après analyses en sous-groupe selon les auteurs.

Auteurs, année	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	7 ans	8 ans	10 ans	>10 ans	Critère
Mc Laughlin 2002 (108)									
Mc Williams 2011 (106)									- chirurgie O
Funk 2016 (218)									
Funk 2015 (97)									
Nordmark 2008 (75)									
Golan 2007 (174)									- déformation rachidienne
O'Brien 2005 (172)									- chirurgie O
Cole 2007 (91)									
Steinbok 1997 (69)									"meilleurs résultats"
Wright 1998 (68)									"meilleurs résultats"
Mc Laughlin 1998 (70)									"meilleurs résultats"
Chicoine 1997 (119)									
Farmer 2007 (144)									-de lordose lombaire
Schwartz 2004 (87)									
Buckon 2004 (71)									
Abel 2005 (210)									
Josenby 2009 (66)									
Park 2006 (219)									
Kim 2006 (163)	L'âge ne doit pas être une contre-indication.								

Tableau 30 : âge des patients au moment de la RPF selon les auteurs (les cases colorées correspondent aux limites d'âge mentionnés dans les articles correspondants)

<sup>19</sup> Summers dans son étude multicentrique anglaise sur des enfants PC GMFCS II et III montre une amélioration de GMFM66 supérieurs chez les GMFCS III que II par rapport aux centiles des enfants PC. En revanche l'amélioration des GMFM 66 en tant que telle est supérieur chez les GMFCS II >III (74).

F. Place de la RPF dans la chronologie de la prise en charge de la spasticité selon Georgiadis.

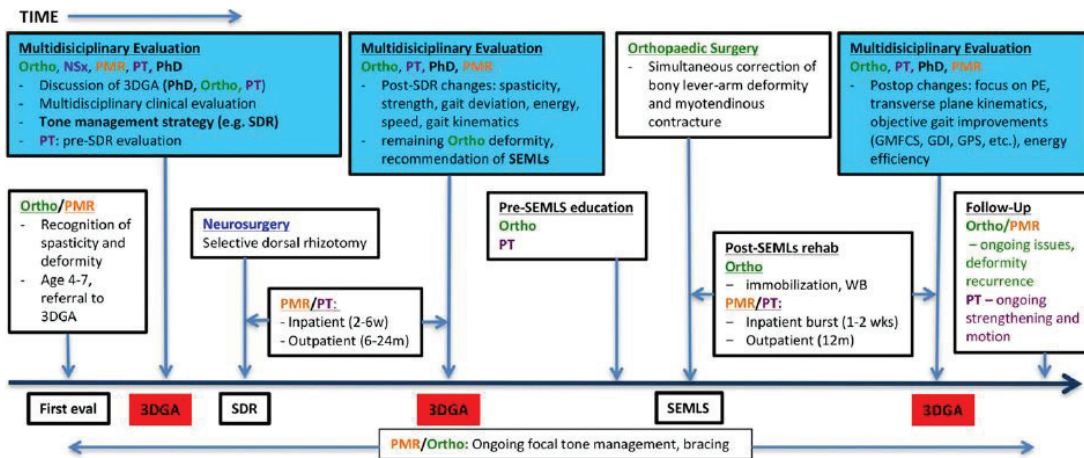


Figure 20 : organigramme décisionnel de la prise en charge orthopédique de l'enfant spastique. Ortho : chirurgie orthopédique, NSx : neurochirurgie, PMR : médecin physique et rééducation, PT : kinésithérapie, PhD : Ingénieur de laboratoire de la marche, PE : examen clinique, GDI : gait déviation index, GPS : gait profile score, 3DGE : analyse de la marche 3D, SEMLs : chirurgie orthopédique multi site. D'après Georgiadis 2017 (220)

Pour notre équipe de neurochirurgien, c'est au moment de l'inflexion des courbes de GMFM que doit intervenir la RPF.

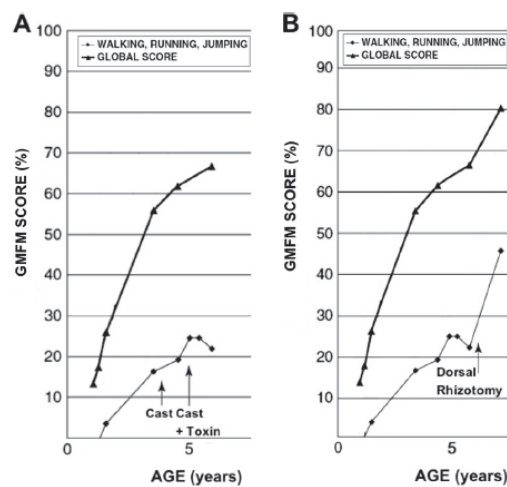


Figure 21 : Exemple de courbe GMFM D et E d'un patient opéré à l'âge de 6 ans. Extrait de Georgoudis (60)

## G. RPF et pompe à BACLOFENE intra-thécal (IBP)

Le BACLOFENE intrathécal a fait ses preuves chez l'enfant paralysé cérébral sur la spasticité, la qualité de vie et la cinématique de marche, la spasticité et la qualité de vie (81)

Plusieurs études suggèrent que la RPF aurait une efficacité supérieure aux pompes à BACLOFENE intrathécal (IBP Intrathécal Baclofen Pump).

Kan dans un essai contrôlé comparant 71 enfants (de niveau GMFCS III à V) ayant bénéficié d'une RPF et 71 enfants ayant reçu une ITB rapporte des résultats supérieurs en termes d'amplitudes articulaires, d'amélioration du niveau GMFCS (-1, -2 niveau) et un moindre nombre de chirurgie orthopédique dans le groupe RPF. Les deux thérapies diminuaient similairement la spasticité(209).

A l'occasion d'ablation de pompes à ITB chez 10 enfants PC (GMFCS IV et V), Ingale a montré une diminution de la spasticité aux membres inférieurs et aux membres supérieurs à 8 mois et, chez 27% des patients, une amélioration vésico-sphinctérienne suggérant une supériorité de la RPF sur l'ITB. Quatre-vingt-dix pourcents des parents des enfants ont trouvé une amélioration fonctionnelle après la RPF(131).

Park reproduit ce schéma d'étude chez 13 enfants ayant porté une IBP pendant 4 ans et devenue inefficace et ayant bénéficié d'une RPF à l'occasion de l'ablation de l'IBP. L'auteur rapporte une diminution de la spasticité de -2.3 points en moyenne et une amélioration de la marche (évaluée sur auto-questionnaire) chez 7 patients alors que selon lui, la fonction de déambulation a tendance à se dégrader chez les enfants GMFCS I et II porteur d'une IBP.

Kan soulignait l'intérêt économique de la RPF comparativement aux IBP, relativement coûteuses (remplissage, remplacements, gestion des complications).

Par ailleurs, après une RPF, il peut exister au niveau du site opératoire, (même à 7 ans de la RPF) une arachnoïdite qui peut gêner l'écoulement du LCR et constituer un élément gênant à l'infusion intrathécale.

On peut alors se poser la question, chez les enfants chez qui l'IBP peut être envisagée, de l'ordre des thérapies à proposer. Faut-il envisager, chez les jeunes enfants en premier l'IBP tout en sachant qu'en cas d'échec ou de perte d'effet une RPF pourrait être envisagée ? Ou à l'inverse prioriser la RPF, moins coûteuse mais plus déplétive ? A Lyon la RPF est le plus souvent proposé en cas de contre-indication à la pose d'une IBP (Partie IV-F Figure 15).

Dans notre population, aucune enfant n'avait reçu d'IBP avant la RPF mais la pose d'une IBP a été discuté pour 4 enfants dans les suites de la chirurgie.

H. Proposition de suivi (à adapter en fonction du niveau de départ et des objectifs)

### LORS DE LA RCP NEUROCHIRURGIE

**Type d'atteinte** (diploégique spastique, quadriplégique spastique, atteinte mixte dystonique-spastique) :

**ANTECEDENTS avec :**

- **Terme (SA) :**
- **ETIOLOGIE DE LA PC** (gémellité, anoxie par TDRCF, toxémie gravidique, autre(préciser), non connue)
- **IRM cérébrale**
- **Statut VESICOSPINCTERIEEN** (continence urinaire et fécale, résultat du BUD).
- **Antécédents de CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE avant la RPF** (date, sites)
- **Autres antécédents :**

**Scolarité** (ordinaire, adaptée, aucune) :

**GMFCS PO :**

**FAQ de Gillette PO :**

**TRAITEMENT actuel** (BALCOFENE, VALIUM, RIVOTRIL, LYRICA, ARTANE, MODOPAR, antalgiques), **et posologie**

**Dernière injection de TOXINE BOTULIQUE :**

Site,

dose,

dose-poids

**Objectifs fonctionnels de la chirurgie (en utilisant la GAS):**

Marche :

Station assise :

Verticalisation et transfert :

Douleur :

Nursing :

Luxation de hanche :

Autre :

**Objectifs musculaires de la chirurgie (et racines pressenties) :**

Muscle :

Racines:

Psoas

Adducteurs

Ischio-jambiers

Quadriceps

Triceps sural

Tibial postérieur

Tibial antérieur

**Radiographies :**

Bassin de face (pour tous) : Reimers=

Rachis (si anomalie clinique) : Cobb = :                    spondylolisthésis=

IRM rachidienne

**Bilan urodynamique** (si signes fonctionnels urinaires)



## BILAN KINESITHERAPIQUE PRE OPERATOIRE

### INTERROGATOIRE

GMFCS

Stade de FAQ GILLETTE

ECHELLE DE DOULEUR ADAPTEE (FPSR, EN/EVA, DESS de San Salvador, PAICP si douleurs coxales)

MIF-même

MACS

PEDI

### EXAMEN PHYSIQUE

EMFG ABCDE :

IDE (et condition de mesure : appareillée/pied nu):

BILAN NEUROMOTEUR : amplitudes articulaire (+ angle de Netter), motricité et sélectivité motrice, spasticité (en mAS) :

Psoas

Adducteurs

Ischio-jambiers

Quadriceps

Triceps sural

Tibial postérieur

Tibial antérieur

ANALYSE DE LA MARCHÉ : GDI (Gait Deviation Index)

**BILAN POST OPERATOIRE à 3-6 et 12 MOIS** (si possible hors effet de toxine)

**INTERROGATOIRE**

**GMFCS :**

**Stade de GILLETTE :**

**ECHELLE DE DOULEUR ADAPTEE**

**PEDI :**

**OBJECTIFS ATTEINTS (GAS):**

Marche :

Station assise :

Verticalisation et transfert :

Douleur :

Nursing :

Luxation de hanche :

Autre :

**SATISFACTION de l'enfant et des parents ( ./100) :**

**RECOMMANDERAIENT la chirurgie : OUI/NON :**

**EFFETS INDESIRABLES :**

1-urinaire ou sphinctérien :

2-douleur

3-sensitif

4-rachidienne

5-infectieuses

6-cicatricielle

Autre :

**TRAITEMENTS** (antalgique et antispastique) :

**DERNIERES INJECTIONS DE TOXINE BOTULIQUE :** (date, site, doses, dose-poids)

**EXAMENS PARACLINIQUE S**(radiographie bassin-Reimers, rachis, BUD si nécessaire)

**RECUPERER LE CRO AVEC MONITORAGE EMG et voie d'ABORD**

**ORIENTATION THERAPEUTIQUE (à 24 mois)**

**EXAMEN PHYSIQUE**

**EMFG ABCDE/STC :**

**IDE** (et condition de mesure : appareillée/pieds nus):

**BILAN NEUROMOTEUR :** amplitudes articulaire, motricité, spasticité (en mAS) :

Psoas

Adducteurs

Ischio-jambiers

Quadriceps

Triceps sural

Tibial postérieur

Tibial antérieur

**ANALYSE DE LA MARCHÉ (à 12 et 24 mois) :** GDI (Gait Deviation Index)/EVGS (Edinburgh Visual Gait Score)

## I. Approximation GMFCS effectuées dans la partie discussion

**Wright 1998** dans son essai randomisé contrôlé (24 patients, 12 RPF, âgés de 3.4 à 7.5 ans suivi 12 mois) n'utilise pas la classification GMFCS mais note que 1 enfant non marchant a pu marcher avec un rollator et 3 enfants marchant avec un rollator ont pu s'en sevrer au profit des cannes canadiennes pour 2 d'entre eux et pour une marche sans aide technique pour 1 d'entre eux. *On pourrait très grossièrement approximer par des évolutions respectives de V->IV (n=1), IV->III (n=3), III/IV->II (n=1). 29%*

**Steinbok 1997** dans son essai randomisé contrôlé (15 patients dont 14 RPF, suivi 9 mois) n'utilise pas la classification GMFCS mais note que, parmi les non marchants, 2/15 obtiennent une marche avec rollator (équivalent V/IV->IV), parmi les marchants avec rollator 2/15 s'en sevrer au profit des cannes canadiennes (IV->III) et 1 se sèvre de toute aide technique (IV/III->II), alors que dans le groupe contrôle il n'est noté aucune amélioration des capacités de déambulation. (33%)

**Mac Laughlin 1998** dans son essai randomisé contrôlé (43 patients dont 21 RPF, suivi 24 mois) ne trouve pas de différence statistiquement significative d'amélioration de statut ambulatoire entre les groupes contrôle et RPF bien que parmi le 21 enfants opérés, 8 (38%) améliorent leur statut ambulatoire contre 3/7 enfants non opérés.

*Dans une étude antérieure non comparative en 1994 sur 34 patients Mac Laughlin notait déjà que parmi les quadriplégiques 4 étaient devenus marchant avec aide technique (IV->III), 6 avaient améliorés leurs transferts assis, 1 avait amélioré sa marche assistée. Parmi les diplégiques 1 avait pu se sevrer de ses aides techniques (III->II) et 8 avaient amélioré leur marche, 2 non marchant avaient amélioré leur capacité de transfert et d'installation.*

**Graubert 2000**, dans son essai randomisé contrôlé (43 patients, 18 RPF, suivi 12 mois) n'utilise pas la classification GMFCS mais note que 2/8 patients non marchant obtiennent une marche assistée (contre 1/3 dans le groupe contrôle) (V->IV) et que 2/12 enfants utilisant un rollator ont pu se sevrer d'aide technique (même chiffre dans le groupe contrôle) (III->II). Il nuance ces résultats en précisant que 3 des 4 enfants ayant amélioré leur statut ambulatoire ont diminué leur longueur de pas et leur vitesse de marche.

**Ross 2001** dans une étude prospective sur 19 patients RPF, contrôlés avec des paralysés cérébraux non opérés et des enfants ordinaires, note qu'un enfant non marchant l'est devenu (V->IV), 2 enfants ont pu se sevrer de leur cannes (III->II), 2 passent du rollator aux cannes (IV/III->III) (26% d'enfants améliorés).

## BIBLIOGRAPHIE

1. Goldsmith S, McIntyre S, Smithers-Sheedy H, Blair E, Cans C, Watson L, et al. An international survey of cerebral palsy registers and surveillance systems. *Dev Med Child Neurol*. févr 2016;58 Suppl 2:11-7.
2. Surveillance of Cerebral Palsy in Europe. Surveillance of cerebral palsy in Europe: a collaboration of cerebral palsy surveys and registers. *Surveillance of Cerebral Palsy in Europe (SCPE)*. *Dev Med Child Neurol*. déc 2000;42(12):816-24.
3. Rosenbaum PL, Palisano RJ, Bartlett DJ, Galuppi BE, Russell DJ. Development of the Gross Motor Function Classification System for cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. avr 2008;50(4):249-53.
4. Sellier E, Platt MJ, Andersen GL, Krägeloh-Mann I, De La Cruz J, Cans C, et al. Decreasing prevalence in cerebral palsy: a multi-site European population-based study, 1980 to 2003. *Dev Med Child Neurol*. janv 2016;58(1):85-92.
5. Park TS, Miller BA, Cho J. Simultaneous Selective Dorsal Rhizotomy and Baclofen Pump Removal Improve Ambulation in Patients with Spastic Cerebral Palsy. *Cureus*. 12 juin 2018;10(6):e2791.
6. Himmelmann K, Uvebrant P. The panorama of cerebral palsy in Sweden part XII shows that patterns changed in the birth years 2007-2010. *Acta Paediatr Oslo Nor 1992*. mars 2018;107(3):462-8.
7. Christensen D, Van Naarden Braun K, Doernberg NS, Maenner MJ, Arneson CL, Durkin MS, et al. Prevalence of cerebral palsy, co-occurring autism spectrum disorders, and motor functioning - Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, USA, 2008. *Dev Med Child Neurol*. janv 2014;56(1):59-65.
8. Moster D, Wilcox AJ, Vollset SE, Markestad T, Lie RT. Cerebral palsy among term and postterm births. *JAMA*. 1 sept 2010;304(9):976-82.
9. Cans C, McManus V, Crowley M, Guillem P, Platt M-J, Johnson A, et al. Cerebral palsy of post-neonatal origin: characteristics and risk factors. *Paediatr Perinat Epidemiol*. mai 2004;18(3):214-20.
10. Eunson P. Aetiology and epidemiology of cerebral palsy. *Paediatr Child Health*. 1 sept 2016;26(9):367-72.
11. Graham HK, Rosenbaum P, Paneth N, Dan B, Lin J-P, Damiano DL, et al. Cerebral palsy. *Nat Rev Dis Primer*. 07 2016;2:15082.
12. Himmelmann K, Hagberg G, Uvebrant P. The changing panorama of cerebral palsy in Sweden. X. Prevalence and origin in the birth-year period 1999-2002. *Acta Paediatr Oslo Nor 1992*. sept 2010;99(9):1337-43.
13. Bulletins du RHEOP | RHEOP [Internet]. [cité 28 sept 2019]. Disponible sur: <https://rheop.univ-grenoble-alpes.fr/travaux-et-publications/surveillance-mortinatalite-et-handicaps-severes-enfant/bulletins-rheop>
14. Jahnsen R, Villien L, Egeland T, Stanghelle JK, Holm I. Locomotion skills in adults with cerebral palsy. *Clin Rehabil*. mai 2004;18(3):309-16.
15. Opheim A, Jahnsen R, Olsson E, Stanghelle JK. Walking function, pain, and fatigue in adults with cerebral palsy: a 7-year follow-up study. *Dev Med Child Neurol*. mai 2009;51(5):381-8.
16. Bottos M, Feliciangeli A, Sciuto L, Gericke C, Vianello A. Functional status of adults with cerebral palsy and implications for treatment of children. *Dev Med Child Neurol*. août 2001;43(8):516-28.
17. Day SM, Wu YW, Strauss DJ, Shavelle RM, Reynolds RJ. Change in ambulatory ability of adolescents and young adults with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2007;49(9):647-53.
18. Hanna SE, Rosenbaum PL, Bartlett DJ, Palisano RJ, Walter SD, Avery L, et al. Stability and decline in gross motor function among children and youth with

- cerebral palsy aged 2 to 21 years. *Dev Med Child Neurol.* avr 2009;51(4):295-302.
19. Tosi LL, Maher N, Moore DW, Goldstein M, Aisen ML. Adults with cerebral palsy: a workshop to define the challenges of treating and preventing secondary musculoskeletal and neuromuscular complications in this rapidly growing population. *Dev Med Child Neurol.* oct 2009;51 Suppl 4:2-11.
  20. Morgan P, McGinley J. Gait function and decline in adults with cerebral palsy: a systematic review. *Disabil Rehabil.* 2014;36(1):1-9.
  21. Park TS, Liu JL, Edwards C, Walter DM, Dobbs MB. Functional Outcomes of Childhood Selective Dorsal Rhizotomy 20 to 28 Years Later. *Cureus.* 17 mai 2017;9(5):e1256.
  22. Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, Russell D, Wood E, Galuppi B. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* avr 1997;39(4):214-23.
  23. Palisano R, Rosenbaum P, Bartlett D, Livingston M. GMFCS – E & R Gross Motor Function Classification System. :4.
  24. Novacheck TF, Stout JL, Tervo R. Reliability and validity of the Gillette Functional Assessment Questionnaire as an outcome measure in children with walking disabilities. *J Pediatr Orthop.* févr 2000;20(1):75-81.
  25. Russell DJ, Rosenbaum PL, Cadman DT, Gowland C, Hardy S, Jarvis S. The gross motor function measure: a means to evaluate the effects of physical therapy. *Dev Med Child Neurol.* juin 1989;31(3):341-52.
  26. Rosenbaum PL, Walter SD, Hanna SE, Palisano RJ, Russell DJ, Raina P, et al. Prognosis for gross motor function in cerebral palsy: creation of motor development curves. *JAMA.* 18 sept 2002;288(11):1357-63.
  27. Hanna SE, Bartlett DJ, Rivard LM, Russell DJ. Reference curves for the Gross Motor Function Measure: percentiles for clinical description and tracking over time among children with cerebral palsy. *Phys Ther.* mai 2008;88(5):596-607.
  28. Jeng B, Sandroff BM, Motl RW. Energetic cost of walking and spasticity in persons with multiple sclerosis with moderate disability. *NeuroRehabilitation.* 2018;43(4):483-9.
  29. Unnithan VB, Clifford C, Bar-Or O. Evaluation by exercise testing of the child with cerebral palsy. *Sports Med Auckl NZ.* oct 1998;26(4):239-51.
  30. Rose J, Gamble JG, Lee J, Lee R, Haskell WL. The Energy Expenditure Index: A Method to Quantitate and Compare Walking Energy Expenditure for Children and Adolescents. *J Pediatr Orthop.* oct 1991;11(5):571.
  31. Cristol C, Bérard C. Évaluation fonctionnelle de la marche par l'index de dépense énergétique. Valeurs de référence chez l'enfant. *Ann Réadapt Médecine Phys.* 1 janv 1998;41(7):429-33.
  32. Astrand PO, Ryhming I. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J Appl Physiol.* sept 1954;7(2):218-21.
  33. référence supprimée.
  34. Tedroff K, Hägglund G, Miller F. Long-term effects of selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 24 juill 2019;
  35. Grunt S, Fieggen AG, Vermeulen RJ, Becher JG, Langerak NG. Selection criteria for selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy: a systematic review of the literature. *Dev Med Child Neurol.* avr 2014;56(4):302-12.
  36. Lance JW. The control of muscle tone, reflexes, and movement: Robert Wartenberg Lecture. *Neurology.* déc 1980;30(12):1303-13.
  37. Delwaide PJ, Pennisi G. Tizanidine and electrophysiologic analysis of spinal control mechanisms in humans with spasticity.

- Neurology. nov 1994;44(11 Suppl 9):S21-27; discussion S27-28.
38. Lindén O, Hägglund G, Rodby-Bousquet E, Wagner P. The development of spasticity with age in 4,162 children with cerebral palsy: a register-based prospective cohort study. *Acta Orthop.* juin 2019;90(3):286-91.
39. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Phys Ther.* févr 1987;67(2):206-7.
40. Blackburn M, van Vliet P, Mockett SP. Reliability of measurements obtained with the modified Ashworth scale in the lower extremities of people with stroke. *Phys Ther.* janv 2002;82(1):25-34.
41. Tardieu C, Huet de la Tour E, Bret MD, Tardieu G. Muscle hypoextensibility in children with cerebral palsy: I. Clinical and experimental observations. *Arch Phys Med Rehabil.* mars 1982;63(3):97-102.
42. Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P, Leviton A, Paneth N, Dan B, et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. *Dev Med Child Neurol.* août 2005;47(8):571-6.
43. Bérard C et al. La paralysie cérébrale de l'enfant : guide de la consultation. Examen neuro-orthopédique du tronc et des membres inférieurs. [Internet]. 2ème édition revue et corrigée. Lyon: Sauramps Médical; 2008 [cité 11 nov 2018]. 265 p. Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/en/article/218727>
44. Simpson DM, Gracies J-M, Graham K, Hallett M, Miyasaki J, Naumann M, et al. Assessment: botulinum neurotoxin for the treatment of spasticity (an evidence-based review). *Neurology.* 1 sept 2009;73(9):736-7; author reply 737-738.
45. Yelnik AP, Simon O, Parratte B, Gracies JM. How to clinically assess and treat muscle overactivity in spastic paresis. *J Rehabil Med.* oct 2010;42(9):801-7.
46. AFSSAPS, Yelnik A, Simon O, Uzzan M, Dumarcet N, Gerson DM, et al. Recommandations de bonne pratique - Traitements médicamenteux de la spasticité. 2009;16.
47. Goyal V, Laisram N, Wadhwa RK, Kothari SY. Prospective Randomized Study of Oral Diazepam and Baclofen on Spasticity in Cerebral Palsy. *J Clin Diagn Res JCDR.* juin 2016;10(6):RC01-05.
48. Gracies J-M. Pathophysiology of spastic paresis. I: Paresis and soft tissue changes. *Muscle Nerve.* mai 2005;31(5):535-51.
49. Landau WM. Tizanidine and spasticity. *Neurology.* déc 1995;45(12):2295-6.
50. Smith MB, Brar SP, Nelson LM, Franklin GM, Cobble ND. Baclofen effect on quadriceps strength in multiple sclerosis. *Arch Phys Med Rehabil.* mars 1992;73(3):237-40.
51. Mugglestone MA, Eunson P, Murphy MS, Guideline Development Group. Spasticity in children and young people with non-progressive brain disorders: summary of NICE guidance. *BMJ.* 26 juill 2012;345:e4845.
52. Salame K, Ouaknine GER, Rochkind S, Constantini S, Razon N. Surgical treatment of spasticity by selective posterior rhizotomy: 30 years experience. *Isr Med Assoc J IMAJ.* août 2003;5(8):543-6.
53. Jeanmonod D, Sindou M. Somatosensory function following dorsal root entry zone lesions in patients with neurogenic pain or spasticity. *J Neurosurg.* juin 1991;74(6):916-32.
54. Bennett WH. A Case in which Acute Spasmodic Pain in the Left Lower Extremity was completely relieved by Sub-dural Division of the Posterior Roots of certain Spinal Nerves, all other treatment having proved useless. Death from Sudden Collapse and Cerebral Hæmorrhage on the Twelfth Day after the Operation, at the commencement of Apparent Convalescence. *Medico-Chir Trans.* 1889;72:329-348.3.
55. Enslin JMN, Langerak NG, Fieggan AG. The Evolution of Selective Dorsal Rhizotomy for the Management of Spasticity. *Neurother J Am Soc Exp Neurother.* 2019;16(1):3-8.

56. Gueguen J, Barry C, Ben Khedher Balbolia S, Falissard B. Évaluation de l'efficacité et de la sécurité de la myoténofasciotomie pour les enfants atteints de paralysie cérébrale. INSERM - Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale; 2018.
57. Munger ME, Aldahondo N, Krach LE, Novacheck TF, Schwartz MH. Long-term outcomes after selective dorsal rhizotomy: a retrospective matched cohort study. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(11):1196-203.
58. Sindou M. [History of neurosurgical treatment of spasticity]. *Neurochirurgie.* mai 2003;49(2-3 Pt 2):137-43.
59. Schirmer CM, Shils JL, Arle JE, Cosgrove GR, Dempsey PK, Tarlov E, et al. Heuristic map of myotomal innervation in humans using direct intraoperative nerve root stimulation. *J Neurosurg Spine.* juill 2011;15(1):64-70.
60. Georgoulis G, Brînzeu A, Sindou M. Dorsal rhizotomy for children with spastic diplegia of cerebral palsy origin: usefulness of intraoperative monitoring. *J Neurosurg Pediatr.* 13 avr 2018;1-13.
61. Morris C, Galuppi BE, Rosenbaum PL. Reliability of family report for the Gross Motor Function Classification System. *Dev Med Child Neurol.* juill 2004;46(7):455-60.
62. Palisano RJ, Hanna SE, Rosenbaum PL, Russell DJ, Walter SD, Wood EP, et al. Validation of a model of gross motor function for children with cerebral palsy. *Phys Ther.* oct 2000;80(10):974-85.
63. Palisano RJ, Cameron D, Rosenbaum PL, Walter SD, Russell D. Stability of the gross motor function classification system. *Dev Med Child Neurol.* juin 2006;48(6):424-8.
64. Tieman B, Palisano RJ, Gracely EJ, Rosenbaum P, Chiarello LA, O'Neil M. Changes in mobility of children with cerebral palsy over time and across environmental settings. *Phys Occup Ther Pediatr.* 2004;24(1-2):109-28.
65. Compagnone E, Maniglio J, Camposeo S, Vespino T, Losito L, De Rinaldis M, et al. Functional classifications for cerebral palsy: correlations between the gross motor function classification system (GMFCS), the manual ability classification system (MACS) and the communication function classification system (CFCS). *Res Dev Disabil.* nov 2014;35(11):2651-7.
66. Lundkvist Josenby A, Jarnlo G-B, Gummesson C, Nordmark E. Longitudinal construct validity of the GMFM-88 total score and goal total score and the GMFM-66 score in a 5-year follow-up study. *Phys Ther.* avr 2009;89(4):342-50.
67. Drouin LM, Malouin F, Richards CL, Marcoux S. Correlation between the gross motor function measure scores and gait spatiotemporal measures in children with neurological impairments. *Dev Med Child Neurol.* nov 1996;38(11):1007-19.
68. Wright FV, Sheil EM, Drake JM, Wedge JH, Naumann S. Evaluation of selective dorsal rhizotomy for the reduction of spasticity in cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol.* avr 1998;40(4):239-47.
69. Steinbok P, Reiner AM, Beauchamp R, Armstrong RW, Cochrane DD, Kestle J. A randomized clinical trial to compare selective posterior rhizotomy plus physiotherapy with physiotherapy alone in children with spastic diplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* mars 1997;39(3):178-84.
70. McLaughlin JF, Bjornson KF, Astley SJ, Graubert C, Hays RM, Roberts TS, et al. Selective dorsal rhizotomy: efficacy and safety in an investigator-masked randomized clinical trial. *Dev Med Child Neurol.* avr 1998;40(4):220-32.
71. Buckon CE, Thomas SS, Piatt JH, Aiona MD, Sussman MD. Selective dorsal rhizotomy versus orthopedic surgery: a multidimensional assessment of outcome efficacy. *Arch Phys Med Rehabil.* mars 2004;85(3):457-65.
72. Josenby AL, Wagner P, Jarnlo G-B, Westbom L, Nordmark E. Motor function after selective dorsal rhizotomy: a 10-year practice-based follow-up study. *Dev Med Child Neurol.* mai 2012;54(5):429-35.



73. Bolster EAM, van Schie PEM, Becher JG, van Ouwkerk WJR, Strijers RLM, Vermeulen RJ. Long-term effect of selective dorsal rhizotomy on gross motor function in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy, compared with reference centiles. *Dev Med Child Neurol.* juill 2013;55(7):610-6.
74. Summers J, Coker B, Eddy S, Elstad M, Bunce C, Bourmpaki E, et al. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy: an observational cohort study. *Lancet Child Adolesc Health.* juill 2019;3(7):455-62.
75. Nordmark E, Josenby AL, Lagergren J, Andersson G, Strömblad L-G, Westbom L. Long-term outcomes five years after selective dorsal rhizotomy. *BMC Pediatr.* 14 déc 2008;8:54.
76. Langerak NG, Tam N, Vaughan CL, Fieggen AG, Schwartz MH. Gait status 17-26 years after selective dorsal rhizotomy. *Gait Posture.* févr 2012;35(2):244-9.
77. Tedroff K, Löwing K, Åström E. A prospective cohort study investigating gross motor function, pain, and health-related quality of life 17 years after selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* mai 2015;57(5):484-90.
78. Park E-Y, Kim W-H. Relationship between activity limitations and participation restriction in school-aged children with cerebral palsy. *J Phys Ther Sci.* août 2015;27(8):2611-4.
79. Feldman AB, Haley SM, Coryell J. Concurrent and construct validity of the Pediatric Evaluation of Disability Inventory. *Phys Ther.* oct 1990;70(10):602-10.
80. Park E-Y. Path analysis of strength, spasticity, gross motor function, and health-related quality of life in children with spastic cerebral palsy. *Health Qual Life Outcomes.* 19 avr 2018;16(1):70.
81. Nahm NJ, Graham HK, Gormley ME, Georgiadis AG. Management of hypertonia in cerebral palsy. *Curr Opin Pediatr.* 2018;30(1):57-64.
82. Ailon T, Beauchamp R, Miller S, Mortenson P, Kerr JM, Hengel AR, et al. Long-term outcome after selective dorsal rhizotomy in children with spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* mars 2015;31(3):415-23.
83. Tedroff K, Löwing K, Jacobson DNO, Åström E. Does loss of spasticity matter? A 10-year follow-up after selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* août 2011;53(8):724-9.
84. Trost JP, Schwartz MH, Krach LE, Dunn ME, Novacheck TF. Comprehensive short-term outcome assessment of selective dorsal rhizotomy. *Dev Med Child Neurol.* oct 2008;50(10):765-71.
85. Sindou M, Georgoulis G. Keyhole interlaminar dorsal rhizotomy for spastic diplegia in cerebral palsy. *Acta Neurochir (Wien).* juill 2015;157(7):1187-96.
86. Gutknecht SM, Schwartz MH, Munger ME. Ambulatory children with cerebral palsy do not exhibit unhealthy weight gain following selective dorsal rhizotomy. *Dev Med Child Neurol.* nov 2015;57(11):1070-5.
87. Schwartz MH, Viehweger E, Stout J, Novacheck TF, Gage JR. Comprehensive treatment of ambulatory children with cerebral palsy: an outcome assessment. *J Pediatr Orthop.* févr 2004;24(1):45-53.
88. Bell KJ, Ounpuu S, DeLuca PA, Romness MJ. Natural progression of gait in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop.* oct 2002;22(5):677-82.
89. Rose GE, Lightbody KA, Ferguson RG, Walsh JC, Robb JE. Natural history of flexed knee gait in diplegic cerebral palsy evaluated by gait analysis in children who have not had surgery. *Gait Posture.* mars 2010;31(3):351-4.
90. Graubert C, Song KM, McLaughlin JF, Bjornson KF. Changes in gait at 1 year post-selective dorsal rhizotomy: results of a prospective randomized study. *J Pediatr Orthop.* août 2000;20(4):496-500.
91. Cole GF, Farmer SE, ROBERTS A, STEWART C, PATRICK JH, Orlau. Rjah Orthopaedic Hospital. Oswestry Shropshire. GBR.

- Selective dorsal rhizotomy for children with cerebral palsy : the Oswestry experience. *Arch Dis Child*. 2007;92(9):781-5.
92. Novak I, McIntyre S, Morgan C, Campbell L, Dark L, Morton N, et al. A systematic review of interventions for children with cerebral palsy: state of the evidence. *Dev Med Child Neurol*. oct 2013;55(10):885-910.
93. Munger ME, Aldahondo N, Krach LE, Novacheck TF, Schwartz MH. Long-term outcomes after selective dorsal rhizotomy: a retrospective matched cohort study. *Dev Med Child Neurol*. 2017;59(11):1196-203.
94. Munger ME, Aldahondo N, Krach LE, Novacheck TF, Schwartz MH. Long-term outcomes after selective dorsal rhizotomy: a retrospective matched cohort study. *Dev Med Child Neurol*. nov 2017;59(11):1196-203.
95. Thomas SS, Buckon CE, Piatt JH, Aiona MD, Sussman MD. A 2-year follow-up of outcomes following orthopedic surgery or selective dorsal rhizotomy in children with spastic diplegia. *J Pediatr Orthop Part B*. nov 2004;13(6):358-66.
96. Engsberg JR, Ross SA, Collins DR, Park TS. Predicting functional change from preintervention measures in selective dorsal rhizotomy. *J Neurosurg*. avr 2007;106(4 Suppl):282-7.
97. Funk JF, Panthen A, Bakir MS, Gruschke F, Sarpong A, Wagner C, et al. Predictors for the benefit of selective dorsal rhizotomy. *Res Dev Disabil*. févr 2015;37:127-34.
98. Langerak NG, Lamberts RP, Fieggen AG, Peter JC, Peacock WJ, Vaughan CL. Functional status of patients with cerebral palsy according to the International Classification of Functioning, Disability and Health model: a 20-year follow-up study after selective dorsal rhizotomy. *Arch Phys Med Rehabil*. juin 2009;90(6):994-1003.
99. McFall J, Stewart C, Kidgell V, Postans N, Jarvis S, Freeman R, et al. Changes in gait which occur before and during the adolescent growth spurt in children treated by selective dorsal rhizotomy. *Gait Posture*. sept 2015;42(3):317-22.
100. Read HS, Hazlewood ME, Hillman SJ, Prescott RJ, Robb JE. Edinburgh visual gait score for use in cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. juin 2003;23(3):296-301.
101. Romei M, Oudenhoven LM, van Schie PEM, van Ouwerkerk WJR, van der Krogt MM, Buizer AI. Evolution of gait in adolescents and young adults with spastic diplegia after selective dorsal rhizotomy in childhood: A 10 year follow-up study. *Gait Posture*. juill 2018;64:108-13.
102. Roberts A, Stewart C, Freeman R. Gait analysis to guide a selective dorsal rhizotomy program. *Gait Posture*. juin 2015;42(1):16-22.
103. MacGregor J. The evaluation of patient performance using long-term ambulatory monitoring technique in the domiciliary environment. *Physiotherapy*. 10 févr 1981;67(2):30-3.
104. van den Hecke A, Malghem C, Renders A, Detrembleur C, Palumbo S, Lejeune TM. Mechanical work, energetic cost, and gait efficiency in children with cerebral palsy. *J Pediatr Orthop*. sept 2007;27(6):643-7.
105. Smits D-W, van Groenestijn AC, Ketelaar M, Scholtes VA, Becher JG, Gorter JW. Selective motor control of the lower extremities in children with cerebral palsy: inter-rater reliability of two tests. *Dev Neurorehabilitation*. 2010;13(4):258-65.
106. MacWilliams BA, Johnson BA, Shuckra AL, D'Astous JL. Functional decline in children undergoing selective dorsal rhizotomy after age 10. *Dev Med Child Neurol*. août 2011;53(8):717-23.
107. Ryan JM, Cassidy EE, Noorduyt SG, O'Connell NE. Exercise interventions for cerebral palsy. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2017 [cité 28 sept 2019];(6). Disponible sur: <http://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD011660.pub2/abstract>
108. McLaughlin J, Bjornson K, Temkin N, Steinbok P, Wright V, Reiner A, et al. Selective dorsal rhizotomy: meta-analysis of three randomized controlled trials. *Dev Med Child Neurol*. janv 2002;44(1):17-25.

109. Mathevon L, Michel F, Decavel P, Fernandez B, Parratte B, Calmels P. Muscle structure and stiffness assessment after botulinum toxin type A injection. A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med.* déc 2015;58(6):343-50.
110. Hurvitz EA, Marciniak CM, Daunter AK, Haapala HJ, Stibb SM, McCormick SF, et al. Functional outcomes of childhood dorsal rhizotomy in adults and adolescents with cerebral palsy. *J Neurosurg Pediatr.* avr 2013;11(4):380-8.
111. Park TS, Edwards C, Liu JL, Walter DM, Dobbs MB. Beneficial Effects of Childhood Selective Dorsal Rhizotomy in Adulthood. *Cureus.* 5 mars 2017;9(3):e1077.
112. Hinderer SR, Gupta S. Functional outcome measures to assess interventions for spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* oct 1996;77(10):1083-9.
113. Spijker M, Strijers RLM, van Ouwerkerk WJR, Becher JG. Disappearance of spasticity after selective dorsal rhizotomy does not prevent muscle shortening in children with cerebral palsy: a case report. *J Child Neurol.* mai 2009;24(5):625-7.
114. McLellan A, Cipparone C, Giancola D, Armstrong D, Bartlett D. Medical and surgical procedures experienced by young children with cerebral palsy. *Pediatr Phys Ther Off Publ Sect Pediatr Am Phys Ther Assoc.* 2012;24(3):268-77.
115. Graham HK, Rosenbaum P, Paneth N, Dan B, Lin J-P, Damiano DL, et al. Cerebral palsy. *Nat Rev Dis Primer.* 07 2016;2:15082.
116. Ross SA, Engsberg JR. Relation between spasticity and strength in individuals with spastic diplegic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* mars 2002;44(3):148-57.
117. Watt JM, Robertson CM, Grace MG. Early prognosis for ambulation of neonatal intensive care survivors with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* déc 1989;31(6):766-73.
118. Wren TAL, Kalisvaart MM, Ghatan CE, Rethlefsen SA, Hara R, Sheng M, et al. Effects of preoperative gait analysis on costs and amount of surgery. *J Pediatr Orthop.* sept 2009;29(6):558-63.
119. Chicoine MR, Park TS, Kaufman BA. Selective dorsal rhizotomy and rates of orthopedic surgery in children with spastic cerebral palsy. *J Neurosurg.* janv 1997;86(1):34-9.
120. Hodgkinson I, Jindrich ML, Duhaut P, Vadot JP, Metton G, Bérard C. Hip pain in 234 non-ambulatory adolescents and young adults with cerebral palsy: a cross-sectional multicentre study. *Dev Med Child Neurol.* déc 2001;43(12):806-8.
121. Abel MF, Wenger DR, Mubarak SJ, Sutherland DH. Quantitative analysis of hip dysplasia in cerebral palsy: a study of radiographs and 3-D reformatted images. *J Pediatr Orthop.* juin 1994;14(3):283-9.
122. Soo B, Howard JJ, Boyd RN, Reid SM, Lanigan A, Wolfe R, et al. Hip displacement in cerebral palsy. *J Bone Joint Surg Am.* janv 2006;88(1):121-9.
123. Reimers J. [Stability of the hip-joint in children assessed by X-ray photograph]. *Ugeskr Laeger.* 22 janv 1979;141(4):231-3.
124. Park TS, Vogler GP, Phillips LH, Kaufman BA, Ortman MR, McClure SM, et al. Effects of selective dorsal rhizotomy for spastic diplegia on hip migration in cerebral palsy. *Pediatr Neurosurg.* 1994;20(1):43-9.
125. Heim RC, Park TS, Vogler GP, Kaufman BA, Noetzel MJ, Ortman MR. Changes in hip migration after selective dorsal rhizotomy for spastic quadriplegia in cerebral palsy. *J Neurosurg.* avr 1995;82(4):567-71.
126. Hicdonmez T, Steinbok P, Beauchamp R, Sawatzky B. Hip joint subluxation after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *J Neurosurg.* juill 2005;103(1 Suppl):10-6.
127. Carroll KL, Moore KR, Stevens PM. Orthopedic procedures after rhizotomy. *J Pediatr Orthop.* févr 1998;18(1):69-74.
128. Daunter AK, Kratz AL, Hurvitz EA. Long-term impact of childhood selective dorsal rhizotomy on pain, fatigue, and function: a

- case-control study. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(10):1089-95.
129. Hodgkinson I, Bérard C, Jindrich ML, Sindou M, Mertens P, Bérard J. Selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy. Results in 18 cases at one year postoperatively. *Stereotact Funct Neurosurg.* 1997;69(1-4 Pt 2):259-67.
130. Privat JM, Benezech J, Frerebeau P, Gros C. Sectorial posterior rhizotomy, a new technique of surgical treatment for spasticity. *Acta Neurochir (Wien).* 1976;35(1-3):181-95.
131. Ingale H, Ughratdar I, Muquit S, Moussa AA, Vloeberghs MH. Selective dorsal rhizotomy as an alternative to intrathecal baclofen pump replacement in GMFCS grades 4 and 5 children. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* févr 2016;32(2):321-5.
132. Fasano VA, Broggi G, Zeme S, Lo Russo G, Sguazzi A. Long-term results of posterior functional rhizotomy. *Acta Neurochir Suppl (Wien).* 1980;30:435-9.
133. Steinbok P, Reiner A, Beauchamp RD, Cochrane DD, Keyes R. Selective functional posterior rhizotomy for treatment of spastic cerebral palsy in children. Review of 50 consecutive cases. *Pediatr Neurosurg.* 1992;18(1):34-42.
134. Nordmark E, Josenby AL, Lagergren J, Andersson G, Strömlad L-G, Westbom L. Long-term outcomes five years after selective dorsal rhizotomy. *BMC Pediatr.* 14 déc 2008;8:54.
135. Mittal S, Farmer J-P, Al-Atassi B, Gibis J, Kennedy E, Galli C, et al. Long-term functional outcome after selective posterior rhizotomy. *J Neurosurg.* août 2002;97(2):315-25.
136. Hodgkinson I, Sindou M. [Neurosurgical treatment of spasticity: indications in children]. *Neurochirurgie.* mai 2003;49(2-3 Pt 2):408-12.
137. Steinbok P. Outcomes after selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* janv 2001;17(1-2):1-18.
138. Dudley RWR, Parolin M, Gagnon B, Saluja R, Yap R, Montpetit K, et al. Long-term functional benefits of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. *J Neurosurg Pediatr.* août 2013;12(2):142-50.
139. Subramanian N, Vaughan CL, Peter JC, Arens LJ. Gait before and 10 years after rhizotomy in children with cerebral palsy spasticity. *J Neurosurg.* juin 1998;88(6):1014-9.
140. Bloom KK, Nazar GB. Functional assessment following selective posterior rhizotomy in spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* mars 1994;10(2):84-6.
141. Dudgeon BJ, Libby AK, McLaughlin JF, Hays RM, Bjornson KF, Roberts TS. Prospective measurement of functional changes after selective dorsal rhizotomy. *Arch Phys Med Rehabil.* janv 1994;75(1):46-53.
142. Park TS, Liu JL, Edwards C, Walter DM, Dobbs MB. Functional Outcomes of Childhood Selective Dorsal Rhizotomy 20 to 28 Years Later. *Cureus.* 17 mai 2017;9(5):e1256.
143. Chen K-L, Wang H-Y, Tseng M-H, Shieh J-Y, Lu L, Yao K-PG, et al. The Cerebral Palsy Quality of Life for Children (CP QOL-Child): evidence of construct validity. *Res Dev Disabil.* mars 2013;34(3):994-1000.
144. Farmer J-P, Sabbagh AJ. Selective dorsal rhizotomies in the treatment of spasticity related to cerebral palsy. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* sept 2007;23(9):991-1002.
145. Abbott R. Complications with selective posterior rhizotomy. *Pediatr Neurosurg.* 1992;18(1):43-7.
146. McNeal DM, Hawtrey CE, Wolraich ML, Mapel JR. Symptomatic neurogenic bladder in a cerebral-palsied population. *Dev Med Child Neurol.* oct 1983;25(5):612-6.
147. Houle AM, Vernet O, Jednak R, Pippi Salle JL, Farmer JP. Bladder function before and after selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy. *J Urol.* sept 1998;160(3 Pt 2):1088-91.

148. Bross S, Honeck P, Kwon ST, Badawi JK, Trojan L, Alken P. Correlation between motor function and lower urinary tract dysfunction in patients with infantile cerebral palsy. *Neurourol Urodyn.* 2007;26(2):222-7.
149. Ozturk M, Oktem F, Kisioglu N, Demirci M, Altuntas I, Kutluhan S, et al. Bladder and bowel control in children with cerebral palsy: case-control study. *Croat Med J. avr* 2006;47(2):264-70.
150. Roijen LE, Postema K, Limbeek VJ, Kuppevelt VH. Development of bladder control in children and adolescents with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* févr 2001;43(2):103-7.
151. Deletis V, Vodusek DB, Abbott R, Epstein FJ, Turndorf H. Intraoperative monitoring of the dorsal sacral roots: minimizing the risk of iatrogenic micturition disorders. *Neurosurgery.* janv 1992;30(1):72-5.
152. Huang JC, Deletis V, Vodusek DB, Abbott R. Preservation of pudendal afferents in sacral rhizotomies. *Neurosurgery.* août 1997;41(2):411-5.
153. Lang FF, Deletis V, Cohen HW, Velasquez L, Abbott R. Inclusion of the S2 dorsal rootlets in functional posterior rhizotomy for spasticity in children with cerebral palsy. *Neurosurgery.* mai 1994;34(5):847-53; discussion 853.
154. DECQ P, MERTENS P. Neurochirurgie - Vol 49 - n° 2-3 - EM consulte [Internet]. [cité 29 sept 2019]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/revue/NEUCHI/49/2-3/table-des-matieres/>
155. Parise M, Sindou M, Mertens P, Mauguière F. Somatosensory evoked potentials following functional posterior rhizotomy in spastic children. *Stereotact Funct Neurosurg.* 1997;69(1-4 Pt 2):268-73.
156. van Schie PEM, Vermeulen RJ, van Ouwerkerk WJR, Kwakkel G, Becher JG. Selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy to improve functional abilities: evaluation of criteria for selection. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* juin 2005;21(6):451-7.
157. Gauger VT, Voepel-Lewis TD, Burke CN, Kostrzewa AJ, Caird MS, Wagner DS, et al. Epidural analgesia compared with intravenous analgesia after pediatric posterior spinal fusion. *J Pediatr Orthop.* sept 2009;29(6):588-93.
158. Hong R, Gauger V, Caird MS, Burke C. Narcotic-only Epidural Infusion for Posterior Spinal Fusion Patients: A Single-Center, Retrospective Review. *J Pediatr Orthop.* août 2016;36(5):526-9.
159. Moore RP, Wester T, Sunder R, Schrock C, Park TS. Peri-operative pain management in children with cerebral palsy: comparative efficacy of epidural vs systemic analgesia protocols. *Paediatr Anaesth.* août 2013;23(8):720-5.
160. Grunt S, Becher JG, Vermeulen RJ. Long-term outcome and adverse effects of selective dorsal rhizotomy in children with cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* juin 2011;53(6):490-8.
161. Peacock WJ, Arens LJ, Berman B. Cerebral palsy spasticity. Selective posterior rhizotomy. *Pediatr Neurosci.* 1987;13(2):61-6.
162. Colver AF, Sethumadhavan T. The term diplegia should be abandoned. *Arch Dis Child.* avr 2003;88(4):286-90.
163. Kim HS, Steinbok P, Wickenheiser D. Predictors of poor outcome after selective dorsal rhizotomy in treatment of spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* janv 2006;22(1):60-6.
164. Oudenhoven LM, van der Krogt MM, Romei M, van Schie PEM, van de Pol LA, van Ouwerkerk WJR, et al. Factors Associated With Long-Term Improvement of Gait After Selective Dorsal Rhizotomy. *Arch Phys Med Rehabil.* 5 juill 2018;
165. Graham D, Aquilina K, Mankad K, Wimalasundera N. Selective dorsal rhizotomy: current state of practice and the role of imaging. *Quant Imaging Med Surg.* mars 2018;8(2):209-18.
166. Eggink H, Kremer D, Brouwer OF, Contarino MF, van Egmond ME, Elema A, et al.



- Spasticity, dyskinesia and ataxia in cerebral palsy: Are we sure we can differentiate them? *Eur J Paediatr Neurol EJPN Off J Eur Paediatr Neurol Soc.* sept 2017;21(5):703-6.
167. Steinbok P. Selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy: a review. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* sept 2007;23(9):981-90.
168. van de Pol LA, Vermeulen RJ, van 't Westende C, van Schie PEM, Bolster EAM, van Ouwkerk PWJR, et al. Risk Factors for Dystonia after Selective Dorsal Rhizotomy in Nonwalking Children and Adolescents with Bilateral Spasticity. *Neuropediatrics.* 2018;49(1):44-50.
169. Abdel Ghany WA, Nada M, Mahran MA, Aboud A, Mahran MG, Nasef MAA, et al. Combined Anterior and Posterior Lumbar Rhizotomy for Treatment of Mixed Dystonia and Spasticity in Children With Cerebral Palsy. *Neurosurgery.* sept 2016;79(3):336-44.
170. Wong AM, Chen CL, Hong WH, Tang FT, Lui TN, Chou SW. Motor control assessment for rhizotomy in cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil.* oct 2000;79(5):441-50.
171. Reynolds MR, Ray WZ, Strom RG, Blackburn SL, Lee A, Park TS. Clinical outcomes after selective dorsal rhizotomy in an adult population. *World Neurosurg.* janv 2011;75(1):138-44.
172. O'Brien DF, Park TS, Puglisi JA, Collins DR, Leuthardt EC, Leonard JR. Orthopedic surgery after selective dorsal rhizotomy for spastic diplegia in relation to ambulatory status and age. *J Neurosurg.* juill 2005;103(1 Suppl):5-9.
173. Kim HS, Steinbok P, Wickenheiser D. Predictors of poor outcome after selective dorsal rhizotomy in treatment of spastic cerebral palsy. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* janv 2006;22(1):60-6.
174. Golan JD, Hall JA, O'Gorman G, Poulin C, Benaroch TE, Cantin M-A, et al. Spinal deformities following selective dorsal rhizotomy. *J Neurosurg.* juin 2007;106(6 Suppl):441-9.
175. Baker R, Graham K. Functional decline in children undergoing selective dorsal rhizotomy after age 10. *Dev Med Child Neurol.* août 2011;53(8):677.
176. Peter JC, Arens LJ. Selective posterior lumbosacral rhizotomy in teenagers and young adults with spastic cerebral palsy. *Br J Neurosurg.* 1994;8(2):135-9.
177. Sindou M, Abdennebi B, Sharkey P. Microsurgical selective procedures in peripheral nerves and the posterior root-spinal cord junction for spasticity. *Appl Neurophysiol.* 1985;48(1-6):97-104.
178. Park TS, Johnston JM. Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. Technical note. *Neurosurg Focus.* 15 août 2006;21(2):e7.
179. Fukuhara T, Kamata I. Selective posterior rhizotomy for painful spasticity in the lower limbs of hemiplegic patients after stroke: report of two cases. *Neurosurgery.* mai 2004;54(5):1268-72; discussion 1272-1273.
180. Mugglestone MA, Eunson P, Murphy MS, Guideline Development Group. Spasticity in children and young people with non-progressive brain disorders: summary of NICE guidance. *BMJ.* 26 juill 2012;345:e4845.
181. Wang KK, Munger ME, Chen BP-J, Novacheck TF. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy. *J Child Orthop.* 1 oct 2018;12(5):413-27.
182. Collignon P, Giusiano B. Une échelle d'évaluation de la douleur chez l'enfant polyhandicapé. In: Gauvain-Piquard A., Murat I., Pons G.: *Collection . Springer-Verlag (Paris), 1993 (pp. 11–20). Douleur Chez Enfant Echelles Dévaluation Trait Médicamenteux.* 1993;11-20.
183. Boldingh EJ, Jacobs-van der Bruggen MA, Lankhorst GJ, Bouter LM. Assessing pain in patients with severe cerebral palsy: development, reliability, and validity of a pain assessment instrument for cerebral palsy. *Arch Phys Med Rehabil.* mai 2004;85(5):758-66.
184. Kiresuk TJ. Goal attainment scaling: A general method for evaluating

- comprehensive community mental health programs. - PubMed - NCBI. Community Health J [Internet]. 1968 [cité 30 sept 2019]; Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/doi/10.1177/001375286800300101>
185. Charmet E, Bethoux F, Calmels P, Gautheron V, Minaire P. MIF Mômes: étude de la reproductibilité et analyse d'une population témoin d'enfants sains de 1 à 9 ans (échantillon de 167 sujets). *Ann Réadapt Médecine Phys.* 1 janv 1996;39(1):15-9.
186. Varni JW, Seid M, Rode CA. The PedsQL: measurement model for the pediatric quality of life inventory. *Med Care.* févr 1999;37(2):126-39.
187. Eliasson A-C, Krumlinde-Sundholm L, Rösblad B, Beckung E, Arner M, Ohrvall A-M, et al. The Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Dev Med Child Neurol.* juill 2006;48(7):549-54.
188. Le Carvozin P. Spasticité musculaire : état des lieux et perspectives. 2013. 2013;
189. Lundström E, Smits A, Terént A, Borg J. Time-course and determinants of spasticity during the first six months following first-ever stroke. *J Rehabil Med.* avr 2010;42(4):296-301.
190. Gracies J-M. Pathophysiology of spastic paresis. II: Emergence of muscle overactivity. *Muscle Nerve.* mai 2005;31(5):552-71.
191. Hufschmidt A, Mauritz KH. Chronic transformation of muscle in spasticity: a peripheral contribution to increased tone. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* juill 1985;48(7):676-85.
192. Newham DJ, Hsiao SF. Knee muscle isometric strength, voluntary activation and antagonist co-contraction in the first six months after stroke. *Disabil Rehabil.* 15 juin 2001;23(9):379-86.
193. Heald A, Bates D, Cartlidge NE, French JM, Miller S. Longitudinal study of central motor conduction time following stroke. 1. Natural history of central motor conduction. *Brain J Neurol.* déc 1993;116 ( Pt 6):1355-70.
194. Covault J, Sanes JR. Neural cell adhesion molecule (N-CAM) accumulates in denervated and paralyzed skeletal muscles. *Proc Natl Acad Sci U S A.* juill 1985;82(13):4544-8.
195. Dewald JP, Pope PS, Given JD, Buchanan TS, Rymer WZ. Abnormal muscle coactivation patterns during isometric torque generation at the elbow and shoulder in hemiparetic subjects. *Brain J Neurol.* avr 1995;118 ( Pt 2):495-510.
196. Boorman GI, Lee RG, Becker WJ, Windhorst UR. Impaired « natural reciprocal inhibition » in patients with spasticity due to incomplete spinal cord injury. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* avr 1996;101(2):84-92.
197. Vinti M. Caractérisation biomécanique et physiologique de la cocontraction spastique dans la parésie spastique. 29 nov 2012 [cité 23 sept 2019]; Disponible sur: <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00913644>
198. Crone C, Johnsen LL, Biering-Sørensen F, Nielsen JB. Appearance of reciprocal facilitation of ankle extensors from ankle flexors in patients with stroke or spinal cord injury. *Brain J Neurol.* févr 2003;126(Pt 2):495-507.
199. Crone C, Hultborn H, Kiehn O, Mazieres L, Wigström H. Maintained changes in motoneuronal excitability by short-lasting synaptic inputs in the decerebrate cat. *J Physiol.* nov 1988;405:321-43.
200. Weidner N, Ner A, Salimi N, Tuszynski MH. Spontaneous corticospinal axonal plasticity and functional recovery after adult central nervous system injury. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 13 mars 2001;98(6):3513-8.
201. Fukuhara T, Nakatsu D, Namba Y, Yamadori I. Histological evidence of intraoperative monitoring efficacy in selective dorsal rhizotomy. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* sept 2011;27(9):1453-8.



202. Fukuhara T, Najm IM, Levin KH, Luciano MG, Brant M S CL. Nerve rootlets to be sectioned for spasticity resolution in selective dorsal rhizotomy. *Surg Neurol.* août 2000;54(2):126-32; discussion 133.
203. Fraioli B, Guidetti B. [Posterior partial rhizotomy and a new technique, posterior partial radiculotomy, in the treatment of tonic spasticity (author's transl)]. *Riv Patol Nerv Ment.* avr 1975;96(2):65-81.
204. Nicolini-Panisson RD, Tedesco AP, Folle MR, Donadio MVF. SELECTIVE DORSAL RHIZOTOMY IN CEREBRAL PALSY: SELECTION CRITERIA AND POSTOPERATIVE PHYSICAL THERAPY PROTOCOLS. *Rev Paul Pediatr Orgao Of Soc Pediatr Sao Paulo.* mars 2018;36(1):9.
205. Palisano RJ, Cameron D, Rosenbaum PL, Walter SD, Russell D. Stability of the gross motor function classification system. *Dev Med Child Neurol.* juin 2006;48(6):424-8.
206. McLaughlin JF, Bjornson KF, Astley SJ, Hays RM, Hoffinger SA, Armantrout EA, et al. The role of selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy: critical evaluation of a prospective clinical series. *Dev Med Child Neurol.* sept 1994;36(9):755-69.
207. Ross SA, Engsberg JR, Olree KS, Park TS. Quadriceps and hamstring strength changes as a function of selective dorsal rhizotomy surgery and rehabilitation. *Pediatr Phys Ther Off Publ Sect Pediatr Am Phys Ther Assoc.* 2001;13(1):2-9.
208. van Schie PEM, Vermeulen RJ, van Ouwkerk WJR, Kwakkel G, Becher JG. Selective dorsal rhizotomy in cerebral palsy to improve functional abilities: evaluation of criteria for selection. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* juin 2005;21(6):451-7.
209. Kan P, Gooch J, Amini A, Ploeger D, Grams B, Oberg W, et al. Surgical treatment of spasticity in children: comparison of selective dorsal rhizotomy and intrathecal baclofen pump implantation. *Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg.* févr 2008;24(2):239-43.
210. Abel MF, Damiano DL, Gilgannon M, Carmines D, Kang HG, Bennett BC, et al. Biomechanical changes in gait following selective dorsal rhizotomy. *J Neurosurg.* mars 2005;102(2 Suppl):157-62.
211. van Schie PEM, Schothorst M, Dallmeijer AJ, Vermeulen RJ, van Ouwkerk WJR, Strijers RLM, et al. Short- and long-term effects of selective dorsal rhizotomy on gross motor function in ambulatory children with spastic diplegia. *J Neurosurg Pediatr.* mai 2011;7(5):557-62.
212. Sacco DJ, Tylkowski CM, Warf BC. Nonselective partial dorsal rhizotomy: a clinical experience with 1-year follow-Up. *Pediatr Neurosurg.* mars 2000;32(3):114-8.
213. Engsberg JR, Ross SA, Wagner JM, Park TS. Changes in hip spasticity and strength following selective dorsal rhizotomy and physical therapy for spastic cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* avr 2002;44(4):220-6.
214. D'Aquino D, Moussa AA, Ammar A, Ingale H, Vloeberghs M. Selective dorsal rhizotomy for the treatment of severe spastic cerebral palsy: efficacy and therapeutic durability in GMFCS grade IV and V children. *Acta Neurochir (Wien).* avr 2018;160(4):811-21.
215. Steinbok P, Schrag C. Complications after selective posterior rhizotomy for spasticity in children with cerebral palsy. *Pediatr Neurosurg.* juin 1998;28(6):300-13.
216. Grootveld LR, van Schie PEM, Buizer AI, Jeroen Vermeulen R, van Ouwkerk WJR, Strijers RLM, et al. Sudden falls as a persistent complication of selective dorsal rhizotomy surgery in children with bilateral spasticity: report of 3 cases. *J Neurosurg Pediatr.* août 2016;18(2):192-5.
217. Ravindra VM, Christensen MT, Onwuzulike K, Smith JT, Halvorson K, Brockmeyer DL, et al. Risk factors for progressive neuromuscular scoliosis requiring posterior spinal fusion after selective dorsal rhizotomy. *J Neurosurg Pediatr.* nov 2017;20(5):456-63.
218. Funk JF, Haberl H. Monosegmental laminoplasty for selective dorsal rhizotomy-operative technique and influence on the development of scoliosis in ambulatory

- children with cerebral palsy. Childs Nerv Syst ChNS Off J Int Soc Pediatr Neurosurg. mai 2016;32(5):819-25.
219. Park TS, Johnston JM. Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy. Technical note. Neurosurg Focus. 15 août 2006;21(2):e7.
220. Georgiadis AG, Schwartz MH, Walt K, Ward ME, Kim PD, Novacheck TF. Team Approach: Single-Event Multilevel Surgery in Ambulatory Patients with Cerebral Palsy. JBJS Rev. 2017;5(8):e10.



## **FUSTIER Amélie - Effets fonctionnels moteurs de la Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle chez l'enfant Paralysé Cérébral.**

### **RESUME**

Nous avons voulu évaluer les bénéfices fonctionnels en termes d'indépendance motrice et de coût énergétique de marche dans une population de 37 enfants paralysés cérébraux de stade III à V, opérés entre 5 et 12 ans. Nous avons relevé une amélioration significative des stades de Palisano (GMFCS) pour 50% des enfants initialement de stade IV ; de la médiane de l'échelle du FAQ de Gillette de 2 points, et de la Gross Motor Function Measure 88 (GMFM 88) de +8%. Le coût énergétique de la marche avait tendance à diminuer. Des chirurgies correctrices orthopédiques ont été nécessaires pour la moitié des patients, mais après un délai moyen de 5 ans suivant la RPF.

Il n'a pas été trouvé de facteur prédictif d'amélioration des scores fonctionnels. Les effets indésirables concernaient 66% des enfants mais avec des séquelles uniquement pour 13% d'entre eux (rétention chronique d'urine ; séquelles rachidiennes).

Les objectifs fonctionnels pré-opératoires, non évalués par les échelles que nous avons utilisées, mais recueillis sur les observations médicales, étaient remplis dans la plupart des cas, notamment chez les patients de stades GMFCS V ou présentant une atteinte dystonique et spastique chez qui nous estimons licite de proposer cette chirurgie.

Les objectifs pré-opératoire doivent être clairement définis en prenant en compte les effets indésirables potentiels et des échelles adaptées doivent être choisies pour assurer le suivi. Des études prospectives comparatives, multicentriques, utilisant des critères de jugement adaptés aux niveaux fonctionnels des enfants sont nécessaires afin de mieux estimer les bénéfices de la RPF dont les indications sont encore débattues.

**MOTS CLES** : Paralysie cérébrale, Rhizotomie Postérieure Fonctionnelle, Spasticité, Evaluation fonctionnelle

### **JURY**

Président : Monsieur le Professeur Patrick MERTENS  
Membres : Monsieur le Professeur Jacques LUAUTE  
Madame le Professeur Sophie JACQUIN-COURTOIS  
Monsieur le Docteur Jean-Claude BERNARD  
Monsieur le Docteur Andrei BRINZEU

**DATE DE SOUTENANCE** 14.10.2019

### **ADRESSE POSTALE DE L'AUTEUR**

7 chemin de Grandvaux – 69130 Ecully [ameliefustier@hotmail.com](mailto:ameliefustier@hotmail.com)