

# Evaluation de l'effet d'un plan incliné sur la marche des enfants avec paralysie cérébrale :

## Quelles pistes pour la rééducation?

CHU de Nantes



UNIVERSITÉ DE NANTES



CENTRE HOSPITALIER  
UNIVERSITAIRE DE NANTES



UNIVERSITÉ  
JEAN MONNET  
SAINT-ÉTIENNE



LA FONDATION  
**MOTRICE**  
RECHERCHE SUR LA  
PARALYSIE CÉRÉBRALE

Lorette VINET MK, Aurélie SARCHER ingénieur,  
Prof. Brigitte PERROUIN-VERBE, Dr. Raphaël GROSS

Journées d'Étude annuelles  
du **CDI** Lundi 12 et mardi 13  
décembre | **2016**

- » Introduction
  - > LAM Clinique
  - > LAM Recherche
  - > Contexte
  - > Rationnel
  - > Hypothèses
- » Méthodologie
  - > Traitement des données
- » Résultats et discussion
  - > Comparaison entre les pentes chez l'enfant PC
  - > Objectifs secondaires
  - > Cas clinique, A. 12 ans
  - > Aspects critiques
- » Résumé
- » Conclusion: Impact clinique et perspectives
- » Remerciements

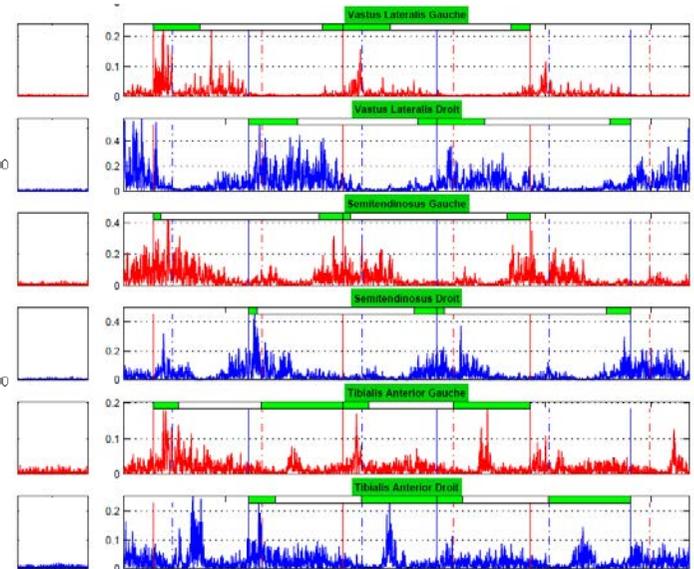
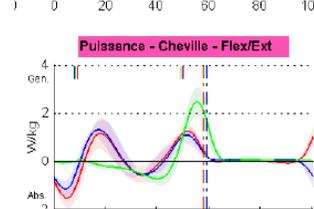
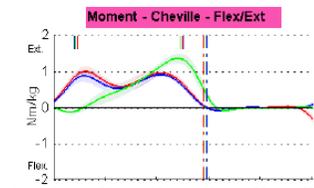
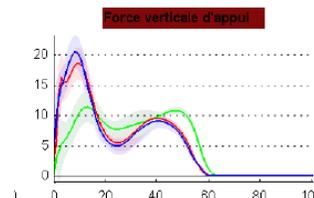
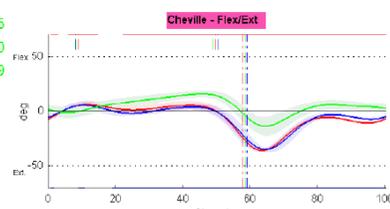
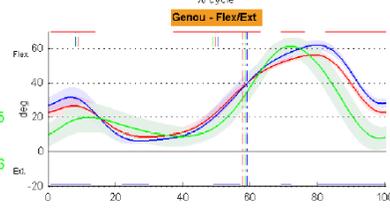
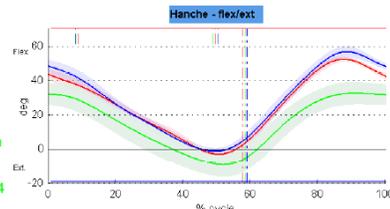
# INTRODUCTION: LAM Clinique



	1 <sup>er</sup> double appui	Simple appui	2 <sup>ème</sup> double appui	
APPUI				
OSCILLATION				

## Paramètres Spatio-Temporels

	Gauche	Droit	Sujet témoin
Vitesse (m/s)	1.13 ± 0.09	1.16 ± 0.13	1.11 ± 0.15
Cadence (pas/min)	68.25 ± 3.75	67.88 ± 4.51	58.52 ± 6.64
Durée (s)	0.88 ± 0.05	0.89 ± 0.06	1.04 ± 0.12
Long. Pas (m)	0.99 ± 0.05	1.02 ± 0.07	1.14 ± 0.13
Long. Demi-pas (m)	0.52 ± 0.03	0.50 ± 0.05	0.57 ± 0.07
Larg. Pas (m)	0.12 ± 0.02	0.08 ± 0.03	0.10 ± 0.04
Phase d'appui (s)	0.51 ± 0.03	0.52 ± 0.05	0.61 ± 0.07
Phase d'appui (%)	57.72 ± 1.09	58.86 ± 1.63	58.49 ± 1.85
1 <sup>er</sup> double appui (%)	9.19 ± 1.52	8.16 ± 1.59	8.44 ± 2.24
Simple appui (%)	40.46 ± 2.84	42.00 ± 2.08	40.50 ± 2.66
2 <sup>ème</sup> double appui (%)	8.06 ± 1.88	8.70 ± 1.15	9.55 ± 1.78
Phase d'oscillation (s)	0.37 ± 0.03	0.36 ± 0.01	0.43 ± 0.05
Phase d'oscillation (%)	42.28 ± 1.09	41.14 ± 1.63	41.51 ± 1.85
Nombre de cycle	7.00 ± 0.00	7.00 ± 0.00	19.00 ± 0.00
Gait Deviation Index	61.32 ± 2.62	70.77 ± 4.06	97.48 ± 9.59
Gait Profile Score	12.26 ± 8.26	10.22 ± 5.01	5.80 ± 3.90



## Modulation de l'activité EMG dans les membres inférieurs d'enfants avec une paralysie cérébrale pour différentes conditions de marche (thèse Sciences Dr GROSS)

### Variation de vitesses de marche chez les enfants avec une paralysie cérébrale unilatérale



Gait & Posture 50 (2016) 34–41



Full length article

Modulation of lower limb muscle activity induced by curved walking in typically developing children



R. Gross<sup>a,\*</sup>, F. Leboeuf<sup>a,b</sup>, M. Lempereur<sup>c,d</sup>, T. Michel<sup>c</sup>, B. Perrouin-Verbe<sup>a</sup>, S. Vieilledent<sup>c,e</sup>, O. Rémy-Néris<sup>c,d</sup>

Clinical Biomechanics 28 (2013) 312–317



The influence of gait speed on co-activation in unilateral spastic cerebral palsy children<sup>☆</sup>



Raphaël Gross<sup>a,\*</sup>, Fabien Leboeuf<sup>a</sup>, Jean Benoit Hardouin<sup>b</sup>, Mathieu Lempereur<sup>c,d,e</sup>, Brigitte Perrouin-Verbe<sup>a</sup>, Olivier Rémy-Néris<sup>c,d,e</sup>, Sylvain Brochard<sup>c,d,e</sup>

Clinical Biomechanics 30 (2015) 1088–1093

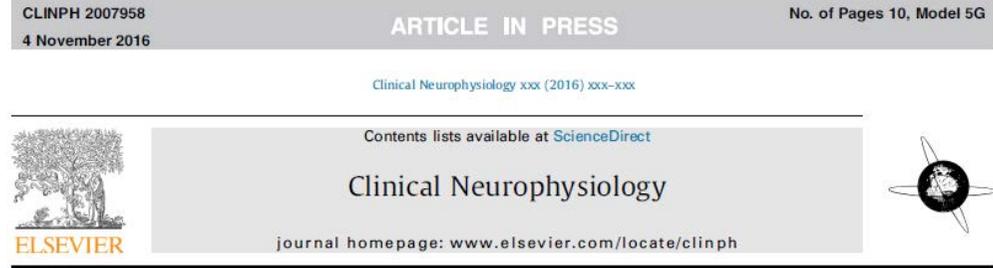
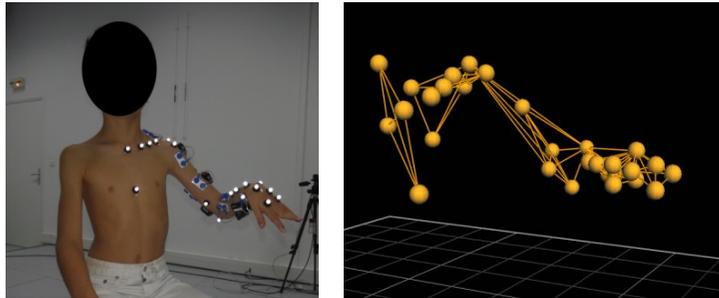


Does muscle coactivation influence joint excursions during gait in children with and without hemiplegic cerebral palsy? Relationship between muscle coactivation and joint kinematics<sup>☆</sup>



Raphaël Gross<sup>a,c,\*</sup>, Fabien Leboeuf<sup>a</sup>, Jean Benoit Hardouin<sup>b</sup>, Brigitte Perrouin-Verbe<sup>a</sup>, Sylvain Brochard<sup>c,d,e</sup>, Olivier Rémy-Néris<sup>c,d,e</sup>

## Analyse des mouvements du membre supérieur (thèse Mlle SARCHER):



Pathological and physiological muscle co-activation during active elbow extension in children with unilateral cerebral palsy

A. Sarcher<sup>a,e,\*</sup>, M. Raison<sup>b</sup>, F. Leboeuf<sup>a,c</sup>, B. Perrouin-Verbe<sup>a</sup>, S. Brochard<sup>d,e</sup>, R. Gross<sup>a,e</sup>

Pré/post thérapie induite par la contrainte chez les enfants avec une paralysie cérébrale unilatérale

Pré/post chirurgie de réanimation de l'extension du coude chez l'adulte blessé médullaire C5/C6



O55 presented in OS09: Upper limb  
Sensitivity of an upper limb motion analysis protocol to changes in kinematics and muscle activity after constraint induced therapy in children with hemiplegia

Aurelie Sarcher<sup>1,\*</sup>, Sylvain Brochard<sup>4</sup>, Maxime Raison<sup>2</sup>, Fabien Leboeuf<sup>3</sup>, Brigitte Perrouin-Verbe<sup>1</sup>, Guy Letellier<sup>3</sup>, Raphael Gross<sup>1</sup>



P124 presented in PS04: Poster teaser: Gait, technical and upper-limb  
Movement analysis for the assessment of surgical reconstruction of elbow extension by tendon transfer in C5/C6 tetraplegia  
Aurelie Sarcher<sup>1,\*</sup>, Sylvain Brochard<sup>2</sup>, Maxime Raison<sup>3</sup>, Fabien Leboeuf<sup>4</sup>, Brigitte Perrouin-Verbe<sup>1</sup>, Raphael Gross<sup>1</sup>

## INTRODUCTION: Contexte

- Utilisation du **plan incliné** chez l'enfant **PC** (1, 2) :
  - Travail de la marche en **situation écologique**
  - **Travail de la posture en statique**
- Absence de preuves quantifiées de son intérêt .



<sup>1</sup> Penneçot, <sup>2</sup> Le Métayer

## » La paralysie cérébrale: anomalies à 3 niveaux

La lésion est stable mais entraîne des anomalies, de **trois** niveaux.

**Anomalies primaires** : conséquences des anomalies neurologiques liées aux lésions cérébrales

**Anomalies secondaires** : résultats des lésions du SNC sur un enfant en croissance

**Anomalies tertiaires** : anomalies volontaires permettant de faciliter le passage du pas

## » Les marches de l'enfant diplégique

» Rodda<sup>1</sup> décrit les 5 types de marche chez l'enfant diplégique. Le « crouch gait » = marche en triple flexion ou marche accroupie

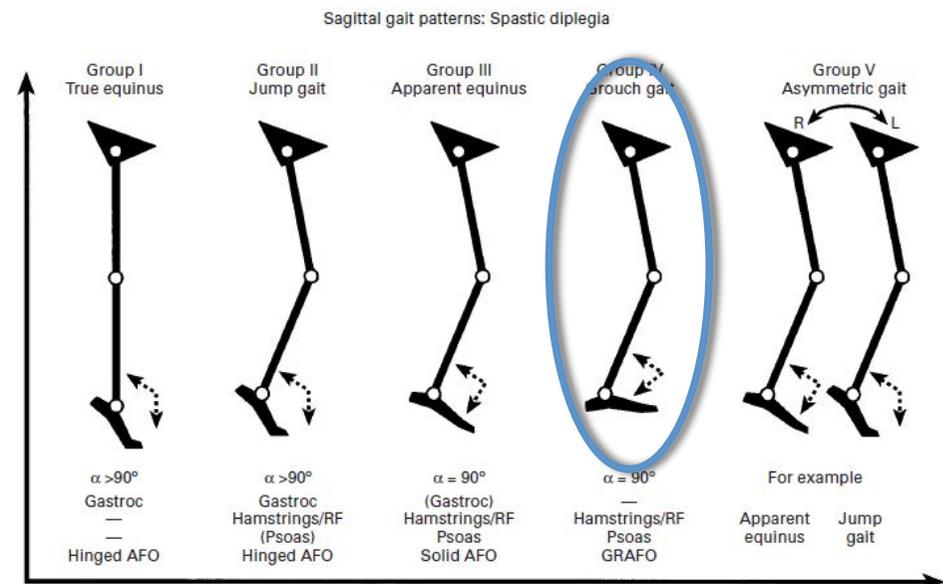


Fig. 1

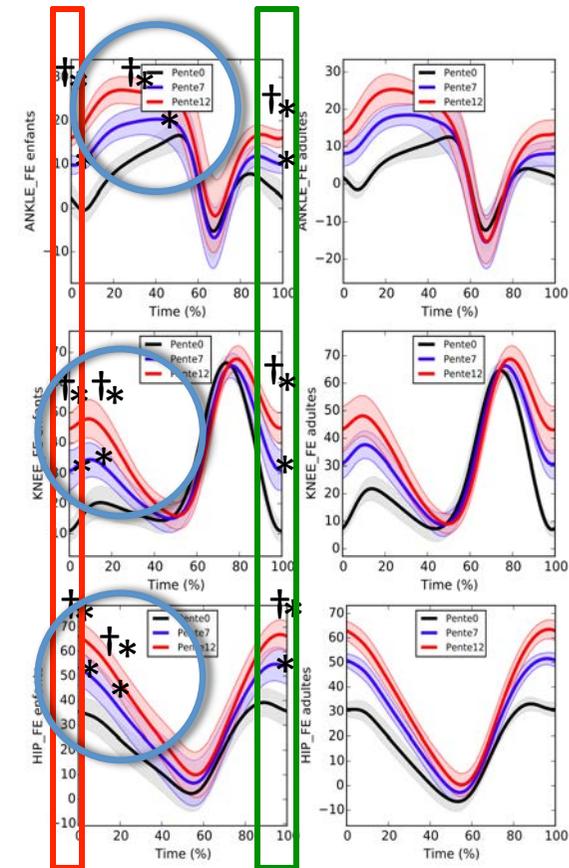
Diagrams showing each gait pattern, with the dominant muscle groups identified for the management of spasticity and/or contracture and appropriate orthotic prescription. Group V is a combination of groups I to IV, with a different group in the right lower limb compared with the left lower limb. In this example, the right lower limb is group III, apparent equinus, and the left lower limb is group II, jump gait.

<sup>1</sup> Rodda et al 2004

**Les étirements passifs ne suffisent pas : il n'existe pas de mémorisation des comportements passifs <sup>1</sup>**

**Le tapis roulant chez l'enfant avec PC : améliore l'allongement des triceps, le renforcement des fléchisseurs dorsaux et améliore la flexion dorsale <sup>2,3</sup>**

**Chez l'enfant à développement typique (DT), l'ascension de la pente augmente l'extension de genou et l'activation musculaire <sup>4</sup>**



<sup>1</sup> Tabary JC. 2008, <sup>2</sup> Willerslev-Olsen et al. 2014, <sup>3</sup> Hösl et al. 2015, <sup>4</sup> Vinet L et al. 2015

» Nous faisons l'hypothèse que la marche sur **tapis roulant ascendant** provoque des **adaptations favorables** au niveau du **genou** pour les enfants diplégiques ayant une marche de type « **crouch gait** »

- Existe-t-il un bénéfice sur la cinématique de marche à l'issue d'un entraînement sur pente?
- Quelles sont les adaptations posturales en statique?
- Existe-t-il une pente optimale?

» 5 enfants avec **PC**, et 6 enfants **DT** (de 6.5 à 12 ans)

Enfants TD	J.	C.	T.	L.	M.	R.			
Date d'examen	15/04/16	15/04/16	20/04/16	28/04/16	27/04/16	25/11/08			
Date de naissance	17/05/07	10/08/09	04/05/07	18/08/07	15/12/03	11/05/16	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart type</b>	
Age	8,92	6,68	8,97	8,70	12,38	7,46	8,85	1,95	
Taille (cm)	135,2	126,5	131	134,3	159	125	135,17	12,37	
Poids (Kg)	26	20	24	34,5	44	27	29,25	8,65	
Vitesse (Km/h)	2,4	2,2	2,1	2,3	3	2,3	2,38	0,32	
Vitesse (m/mn)	40,01	36,67	35,01	38,34	50,01	38,34	39,73	5,32	
Fréquence Cardiaque(bpm)	122,3	138,62	96,62	131	139,54	143,92	128,67	17,45	
IDE	3,06	3,78	2,76	3,42	2,79	3,75	3,26	0,46	
Enfants PC	T.	L.	A.	T.	L.				
Date d'examen	21/04/16	27/04/16	27/04/16	02/05/16	10/04/04				
Date de naissance	21/05/05	22/11/04	05/06/03	13/04/06	04/05/16	<b>Moyenne</b>	<b>Ecart type</b>		
Age									
Taille (cm)									
Poids (Kg)									
Vitesse (Km/h)									
Vitesse (m/mn)									
Fréquence Cardiaque(bpm)									
IDE									

Données démographiques et anthropométriques	Enfants avec PC		Enfants à développement typique	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Age (années)	11.5	1.1	8.9	1.9
Poids (Kg)	41	9.1	29.3	8.7
Taille (mm)	1497.8	90.5	1351.7	123.7

» Critères d'inclusion

» Critères d'exclusion

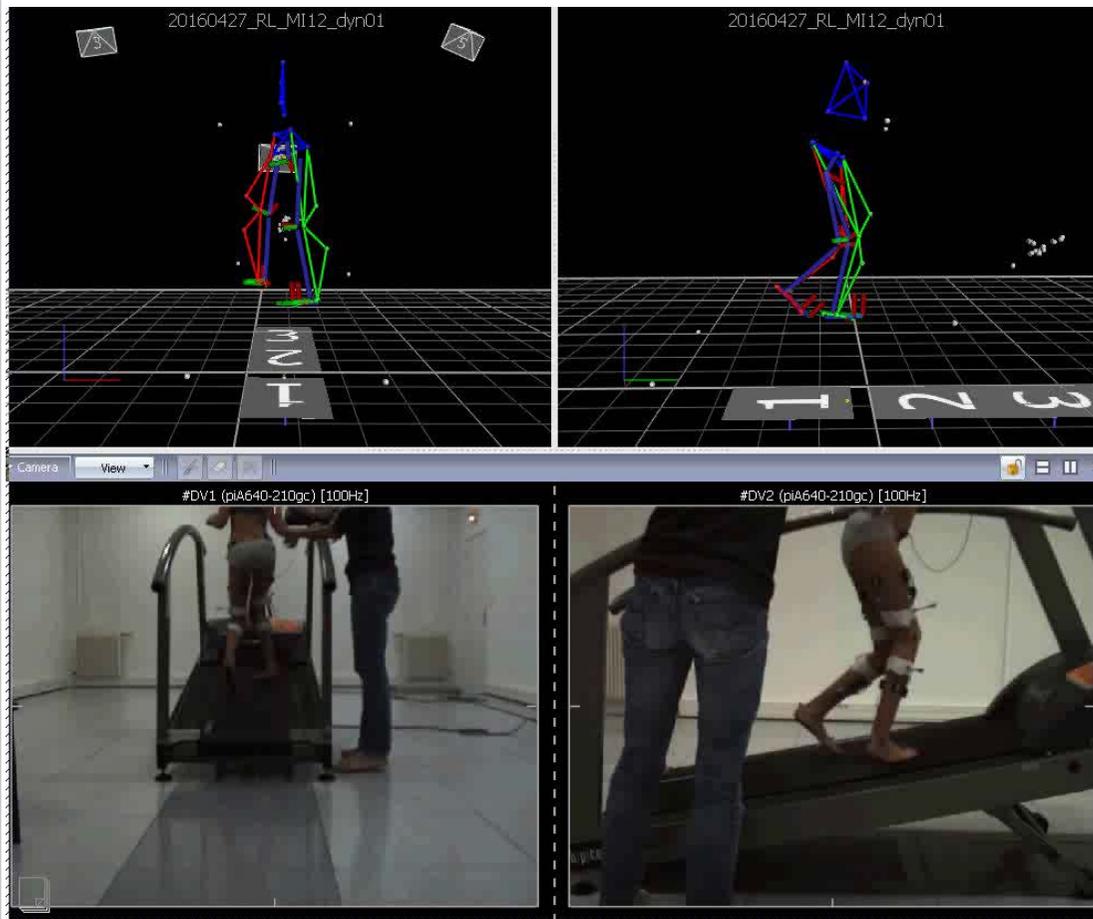
Amplitudes articulaires

Spasticité (Tardieu / Ashworth)

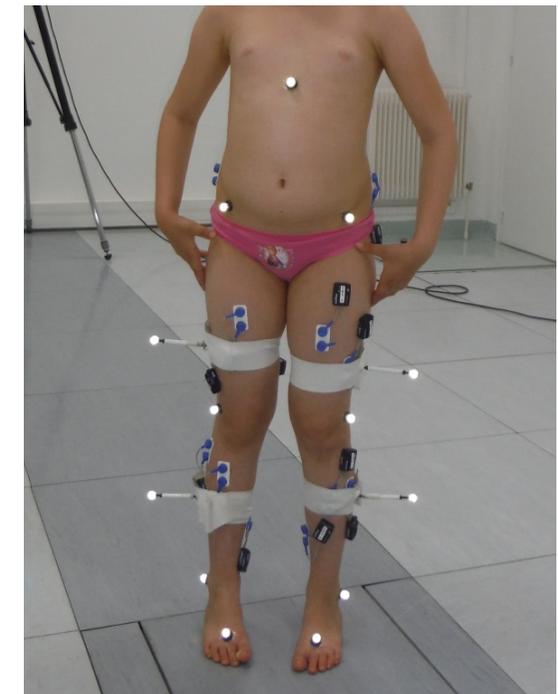
Contrôle Moteur Sélectif et Force musculaire

ANALYSE QUANTIFIEE DE LA MARCHÉ - EVALUATION CLINIQUE ANALYTIQUE											
Nom : R A			Date de naissance 05-06-2003		Examineur(s) GROSS		Date d'examen 27-04-2016				
Atteinte Clinique : diploégie spastique PC											
HANCHE	Mobilité		Contrôle moteur sélectif (CMS) et Force (si CMS)				HANCHE	Spasticité			
	D	G	CMS		Force			Ashworth		Tardieu	
Flexion	120	120	1,5	1,5	5	5	Ilio-psoas				
Extension Genou à 0°	0	-5	1	1	3	3	Grand fessier				
Extension Genou à 90°			1	0,5			Moyen fessier				
Abduction Flex-Hanche / Flex-genou	45	40					Adducteurs	0	0		
Abduction Ext-Hanche / Ext-genou	30	25									
Adduction											
Rotation Int. Ext. Decubitus Ventral	60_15	60_10									
GENOU	D	G	D	G	D	G	GENOU				
	Flexion	145	145	1	1				Iscio-jambiers	0	0
Angle poplité unilatéral bilatéral	90+30	90+40					Extenseurs	1	1		
Angle mort du quadriceps			1	1	5	5					
Extension	0	0					CHEVILLE				
Flexion Dorsale genou tendu	10	5	1	1				Tibialis Anterior			
Flexion Dorsale genou fléchi	20	15	1,5	0,5			Gastroc_Soleus	1_1	1_1		
Varus			0,5	0			Tibialis posterior	0	0		
Valgus			0,5	0			Peroneus	0	0		
Griffe d'orteils							Flex. Dig. Com.				
ANGLES OSSEUX	D	G	échelle CMS/Boyd : Dorsiflexion du pied				Cotation de 0 à 2 du contrôle moteur sélectif (CMS)				
	ILMI	NON	0 : Pas de mvmt 1 : Mvt limité EDL et/ou EHL 2 : Mvt avec EDL / EHL et un peu de TA 3 : Mvt complet avec surtout TA mais avec flexion hanche-genou 4 : Mvt complet, sélectif sans flexion de hanche ni de genou				0 : pas de CMS, minime contraction 0,5 : contraction et mouvement minime et/ou beaucoup de co-contractions 1 : mauvais contrôle sélectif, commande dissociée, mouvement limité, co-contractions possibles 1,5 : CMS correcte mais défaut de fluidité ou limitation dans les mouvements (co-contractions) 2 : CMS parfait, contractions et muscles appropriés				
Anté-torsion Fémorale (Netter)	25	25									
Torsion tibiale angle cuisse Pied	-10	-15									
Rotule haute											
Dislocation médio-tarsienne											

> Bilan fonctionnel (périmètre de marche / aides techniques / questionnaire de Gillette / équilibre unipodal)



**8 muscles** : Rectus femoris (RF), Vastus lateralis (VL), Semi tendinosus (ST), Tibialis anterior (TA), Soleus (Sol), Peroneus longus (PL), Gluteus medius (GMed), Gluteus maximus (GMax).





Pente 0°



Pente 7°



Pente 12°

## 6 essais :

1- AQM standard

*(Puis détermination d'une vitesse confortable sur tapis roulant à 7°)*

2.3.4- Marche sur tapis roulant à 0° / 7° / 12°, de manière aléatoire

5- Entraînement sur tapis roulant à 7° de 6 minutes

6- Marche sur tapis roulant à 0° post entraînement

➔ *Mesure de la fréquence cardiaque sur la dernière minute de l'entraînement à 7°*

- » **Données cinématiques** : dans les trois plans de l'espace pour les articulations des membres inférieurs
- » **Données électromyographiques** : mesure de l'enveloppe linéaire normalisée de chaque muscle
- » **Paramètres Spatio Temporels** : longueur de pas, pourcentage de la phase oscillante...

- » **Données cinématiques** : dans les trois plans de l'espace pour les articulations des membres inférieurs
- » **Données électromyographiques** : mesure de l'enveloppe linéaire normalisée de chaque muscle
- » **Paramètres Spatio Temporels** : longueur de pas, pourcentage de la phase oscillante...
  
- » **Extraction des données** : tous les essais ont été divisés en cycle de marche puis normalisés temporellement en pourcentage de cycle
  
- » **Analyse statistique** : SPM (cinématique et paramètres musculaires), scalaires (PST). ANOVA bidirectionnelle à deux facteurs indépendants (groupe et essai). Analyse post-hoc : correction de Bonferroni ( $p= 0,05$ )

# RESULTATS ET DISCUSSION

Pente 0°

Pente 7°

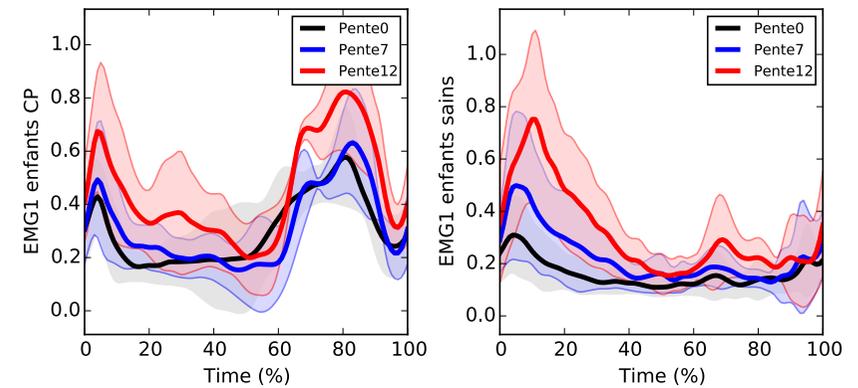
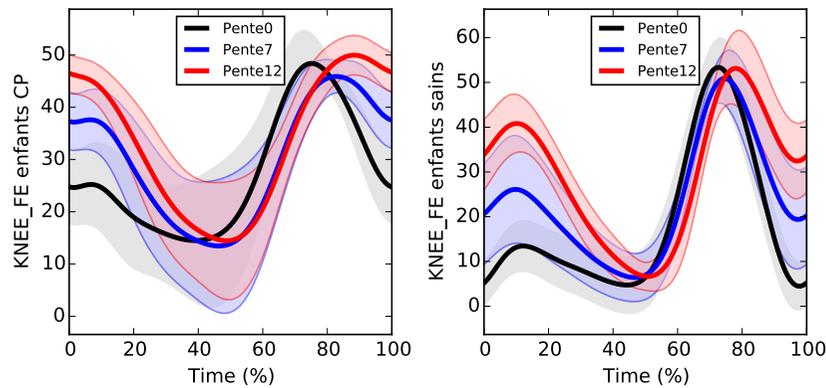
Pente 12°

PC

DT

PC

DT

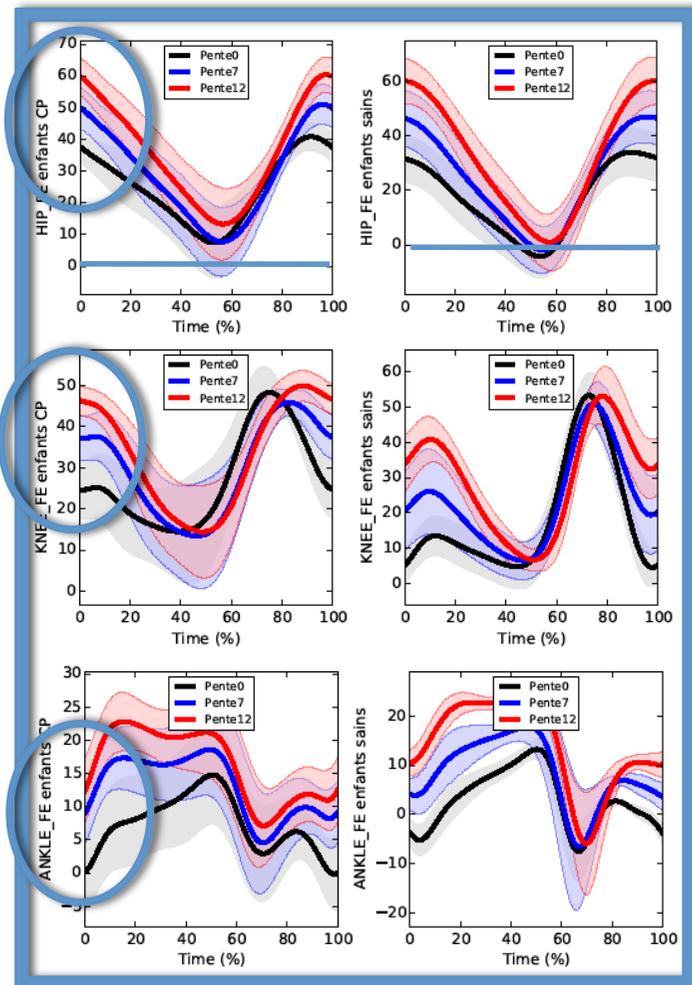


**Angle de flexion/extension du genou**

**Contraction musculaire du rectus femoris**

# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant PC

## Cinématique

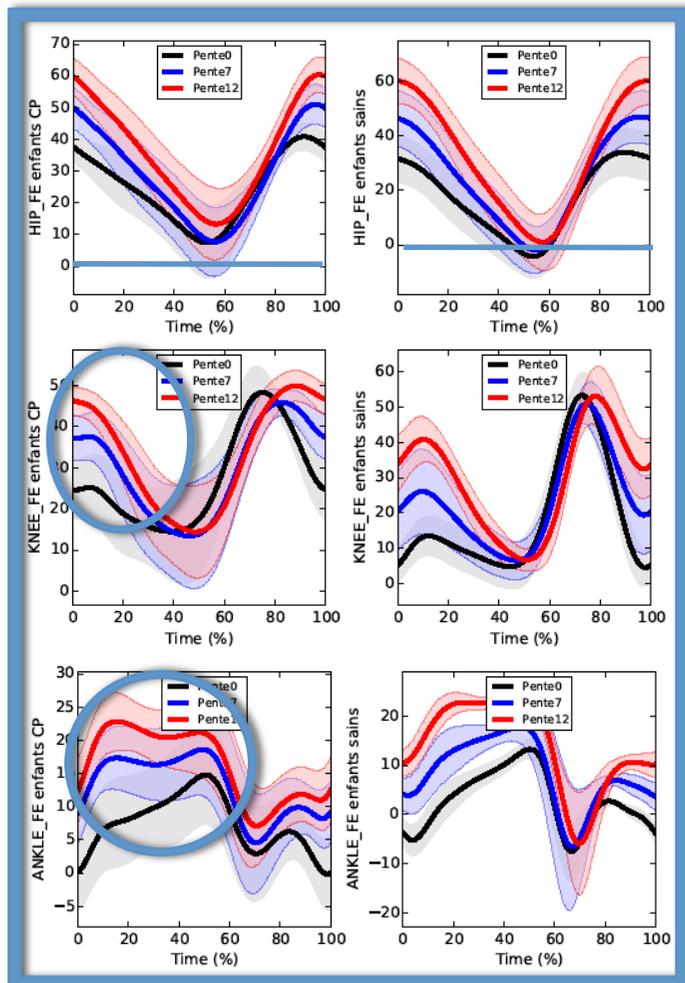


## Données électromyographiques

Augmentation des flexions au contact initial

# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant PC

## Cinématique



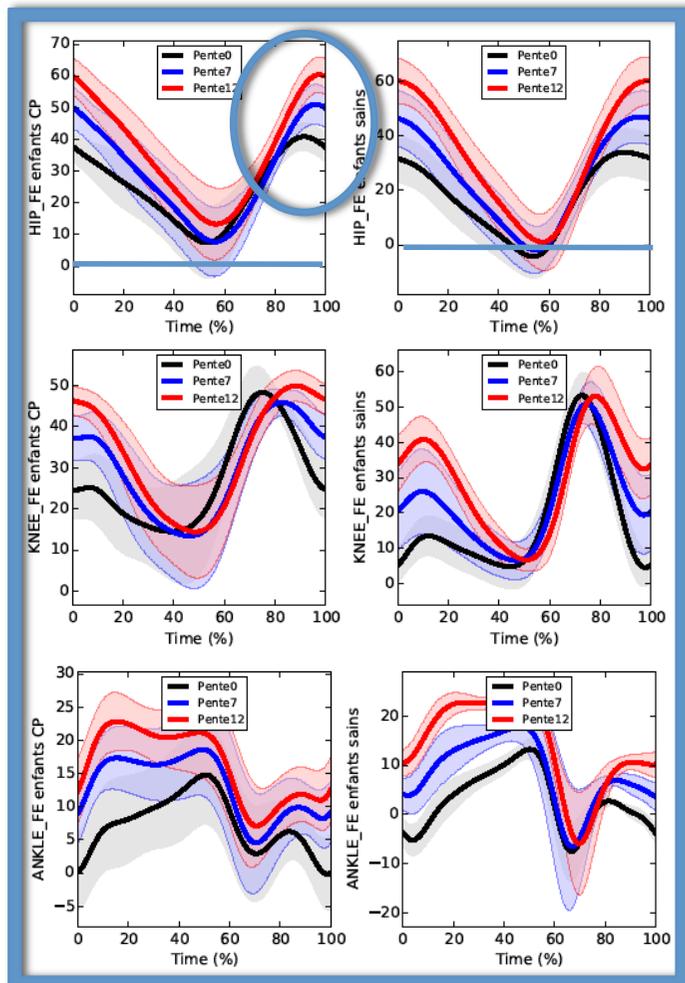
## Données électromyographiques

Augmentation des flexions au contact initial

Augmentation de la flexion dorsale de cheville et de la flexion de genou en phase d'appui

# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant PC

## Cinématique



## Données électromyographiques

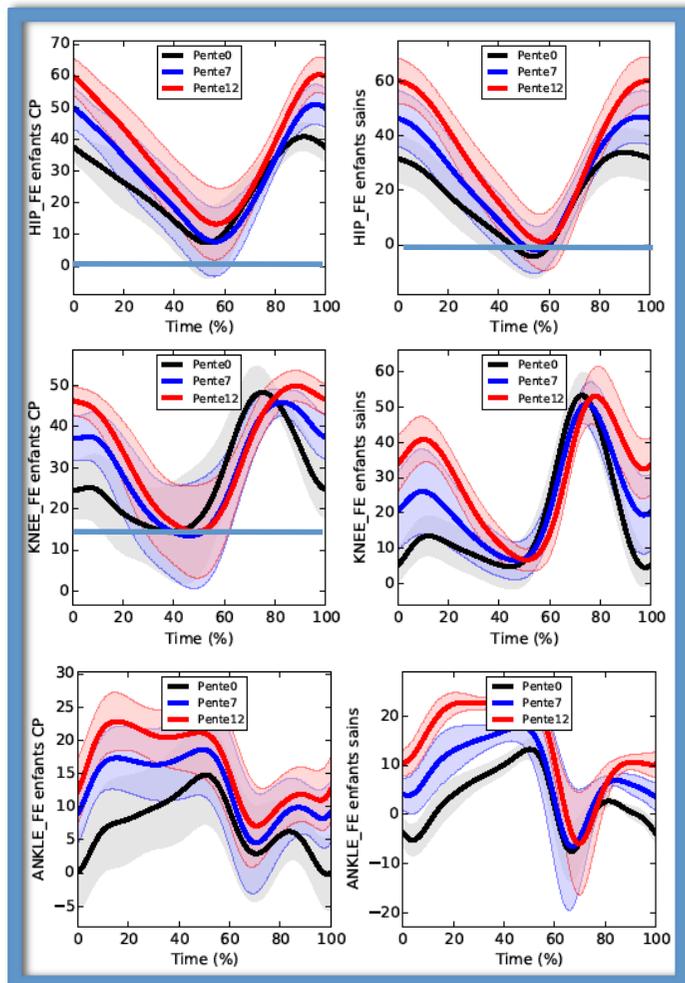
Augmentation des flexions au contact initial

Augmentation de la flexion dorsale de cheville et de la flexion de genou en phase d'appui

Augmentation de la flexion de hanche en phase oscillante

# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant PC

## Cinématique



## Données électromyographiques

Augmentation des flexions au contact initial

Augmentation de la flexion dorsale de cheville et de la flexion de genou en phase d'appui

Augmentation de la flexion de hanche en phase oscillante

Pas de modification de l'extension en fin de phase d'appui chez les enfants PC

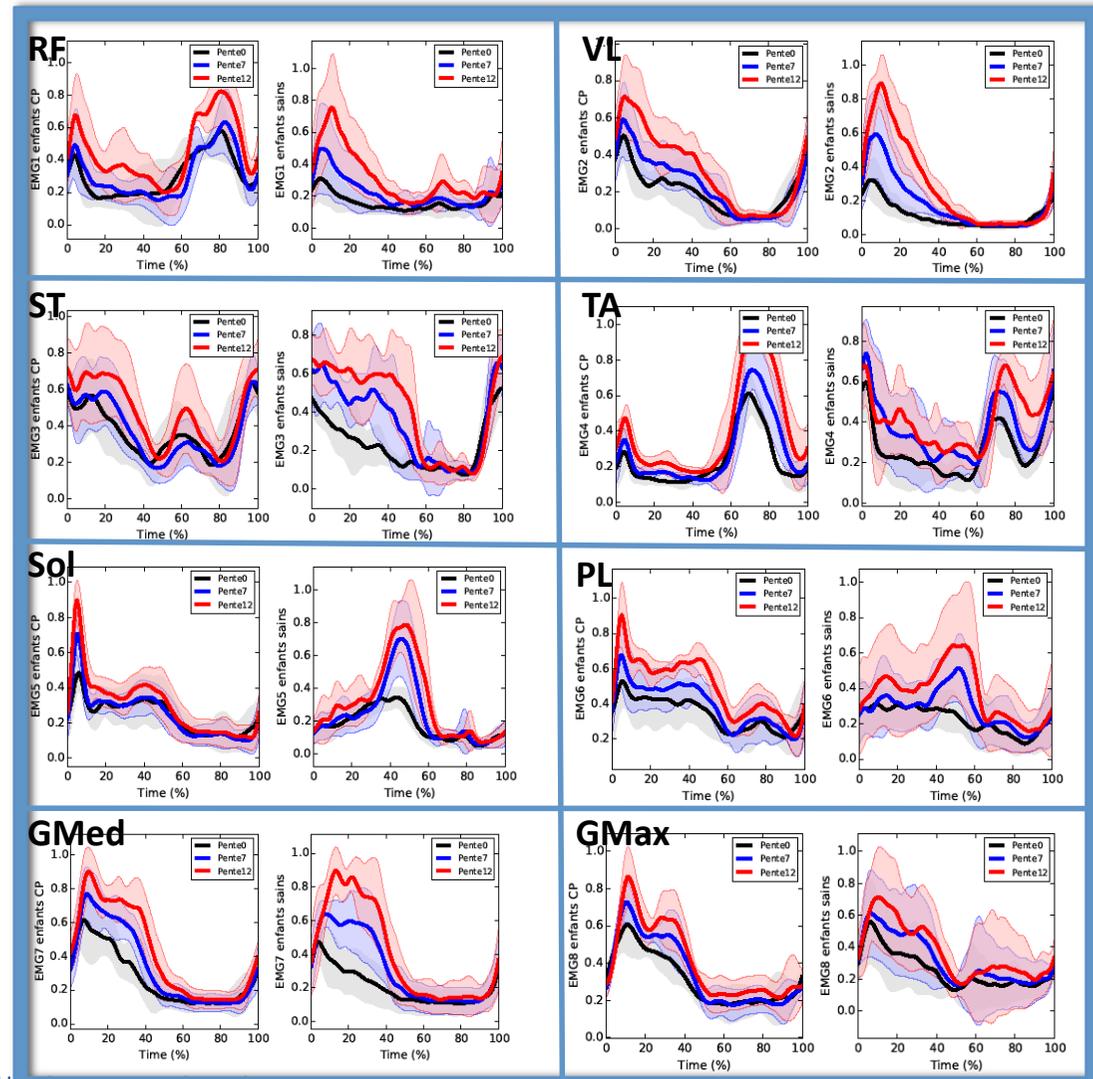
# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant

## PC

Cinématique

Données électromyographiques

Augmentation de l'activation musculaire avec la pente



PC

## » Différences sur

- > La cinématique de genou :  
**maintien de l'extension en fin  
d'appui**

# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant

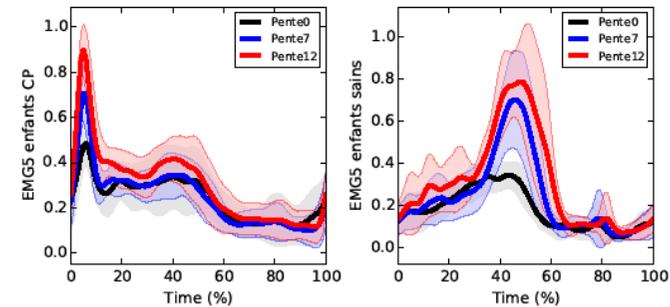
PC

## » Différences sur

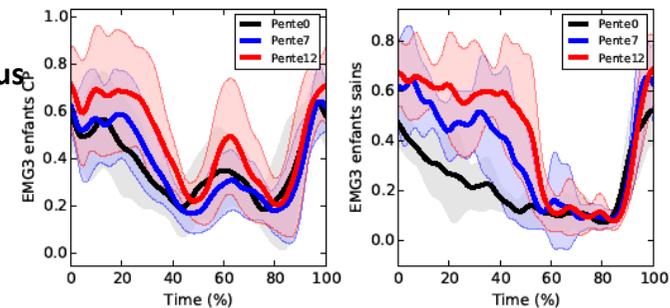
- > La cinématique de genou : **maintien de l'extension en fin d'appui**
- > sur l'activation du Soleus, du Rectus Femoris (comme fléchisseur de hanche) et du Semi Tendinosus (comme fléchisseur de genou)

→ **différence de stratégie de propulsion**

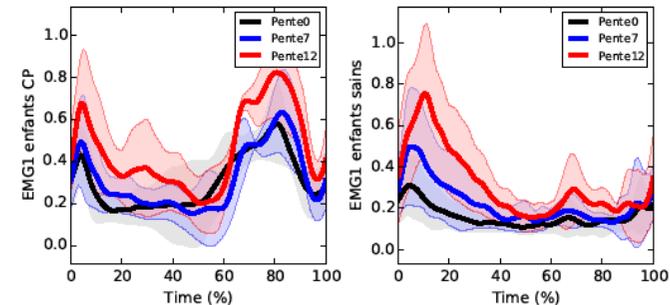
Soleus



Semi Tendinosus



Rectus Femoris



<sup>1</sup> Jung et al. (2016)

# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant

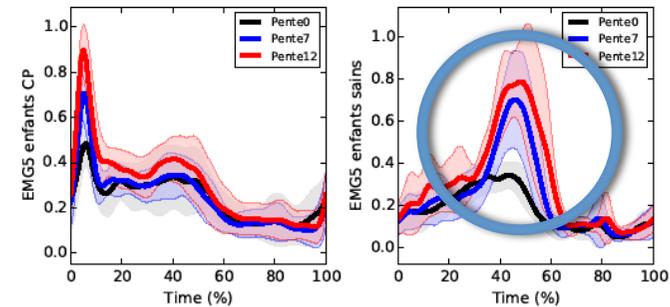
PC

## » Différences sur

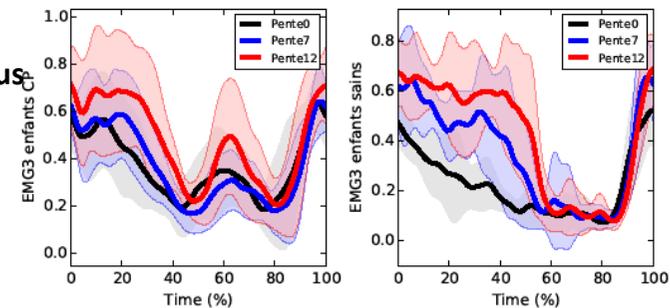
- > La cinématique de genou : **maintien de l'extension en fin d'appui**
- > sur l'activation du Soleus, du Rectus Femoris (comme fléchisseur de hanche) et du Semi Tendinosus (comme fléchisseur de genou)

→ **différence de stratégie de propulsion**

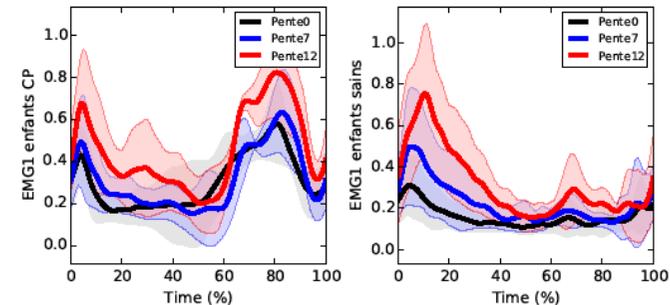
Soleus



Semi Tendinosus



Rectus Femoris



<sup>1</sup> Jung et al. (2016)

# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant

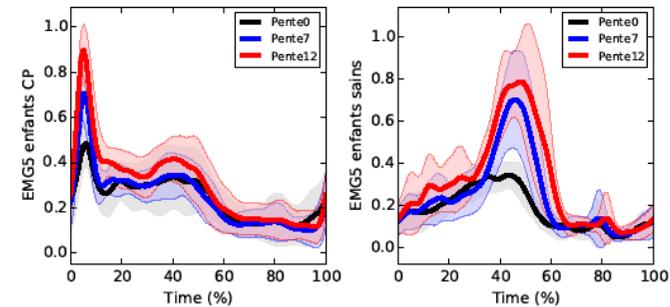
PC

## » Différences sur

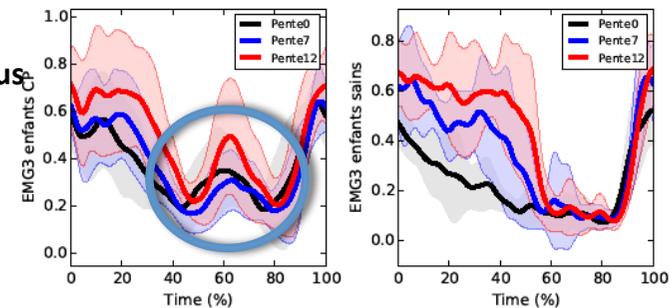
- > La cinématique de genou : **maintien de l'extension en fin d'appui**
- > sur l'activation du Soleus, du Rectus Femoris (comme fléchisseur de hanche) et du Semi Tendinosus (comme fléchisseur de genou)

→ **différence de stratégie de propulsion**

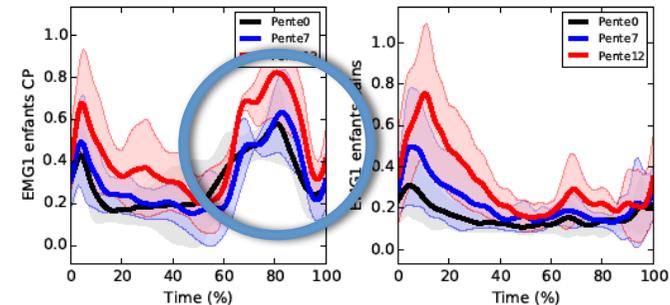
Soleus



Semi Tendinosus



Rectus Femoris



<sup>1</sup> Jung et al. (2016)

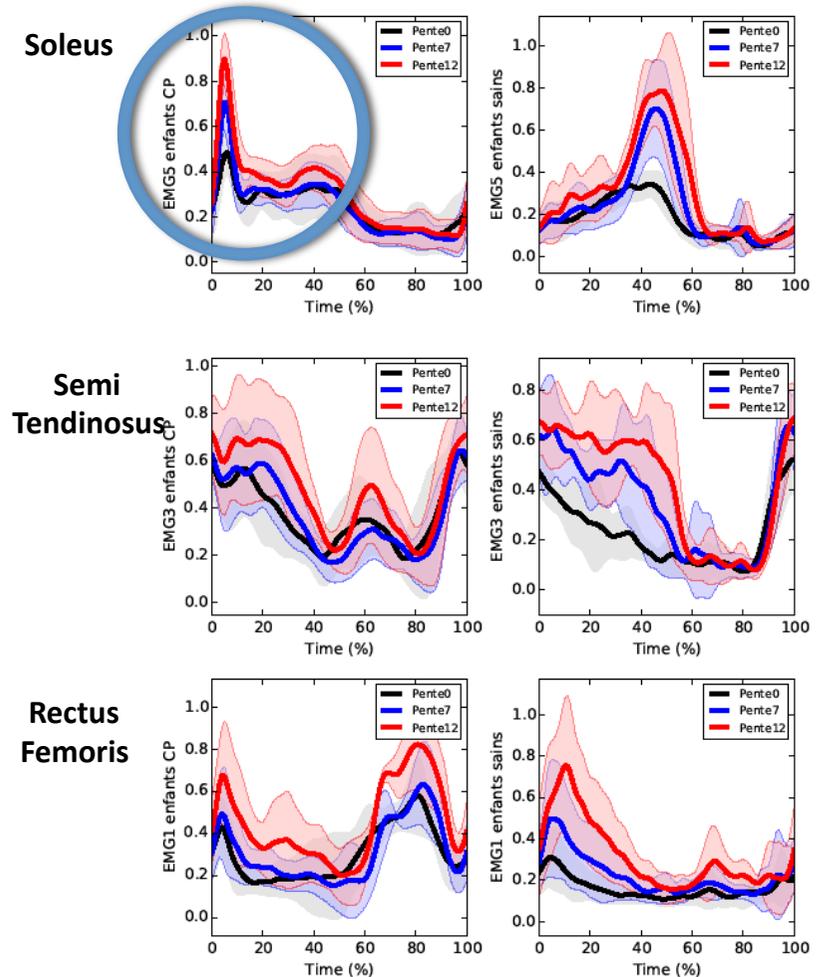
# RESULTATS ET DISCUSSION: Comparaison entre les pentes chez l'enfant

PC

## » Différences sur

- > La cinématique de genou : **maintien de l'extension en fin d'appui**
- > sur l'activation du Soleus, du Rectus Femoris (comme fléchisseur de hanche) et du Semi Tendinosus (comme fléchisseur de genou)

→ **différence de stratégie de propulsion**

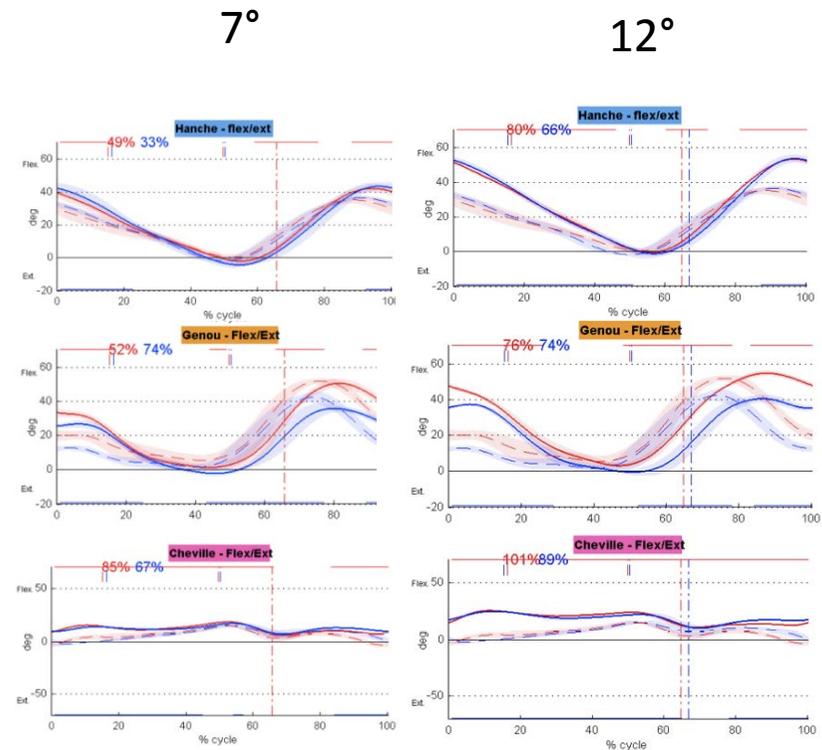


<sup>1</sup> Jung et al. (2016)

- » Pas de différence entre le pré et le post entraînement à 7°
- » Pas de résultats significatifs sur les adaptations posturales

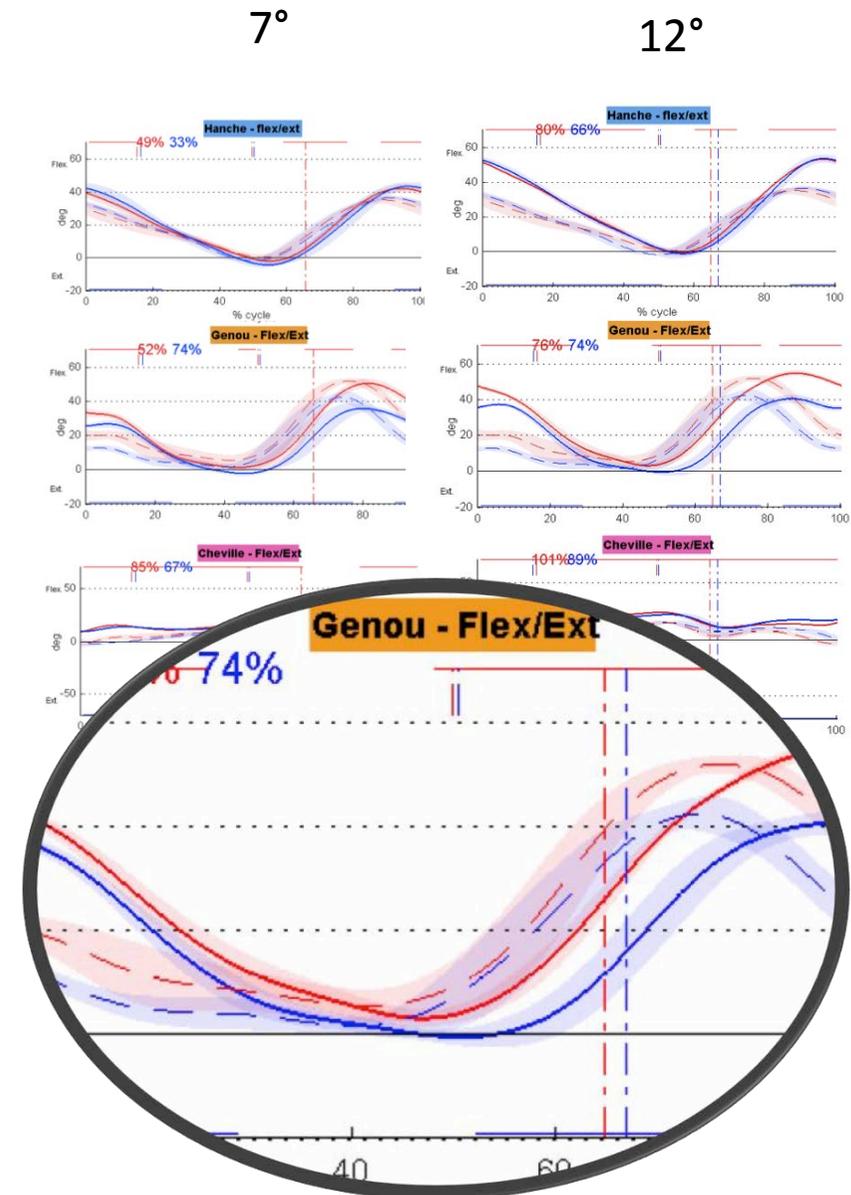
# RESULTATS ET DISCUSSION: Cas clinique, A. 12 ans

- » Bilan clinique
- » **Résultats cinématiques** : flexion augmente / extension de genou → tendance à l'augmentation / la course articulaire augmente (hanche et genou)
- » **Résultats EMG** : à 7°, seulement VL, Gmax et Gmed. A 12°, tous les muscles augmentent leur activation
- » Conséquences d'un point de vue rééducatif
  - > → **dès 7°** pour travailler les amplitudes (début de travail des muscles antigravitaires et stabilisateurs de hanche)
  - > → **à 12°** pour travailler au niveau musculaire



# RESULTATS ET DISCUSSION: Cas clinique, A. 12 ans

- » Bilan clinique
- » **Résultats cinématiques** : flexion augmente / extension de genou → tendance à l'augmentation / la course articulaire augmente (hanche et genou)
- » **Résultats EMG** : à 7°, seulement VL, Gmax et Gmed. A 12°, tous les muscles augmentent leur activation
- » Conséquences d'un point de vue rééducatif
  - > → **dès 7°** pour travailler les amplitudes (début de travail des muscles antigravitaires et stabilisateurs de hanche)
  - > → **à 12°** pour travailler au niveau musculaire



### » Pas de différence après entraînement de 6 minutes :

> Quid d'un entraînement plus intense ou plus régulier sur plusieurs semaines<sup>1</sup> ?

> Problème d'outil d'évaluation de l'effet de l'entraînement ?

#### + **Modification de la marche sur tapis roulant:**

- Sélection d'une vitesse de marche plus lente
- Longueur du pas diminuée
- Activation musculaire et amplitudes moins importantes

→ Augmentation du crouch gait, pour maintenir l'équilibre<sup>1</sup>

» Effectif trop faible qui entraîne un problème de puissance

→ **étude préliminaire**

<sup>1</sup> Willerslev-Olsen et al. 2014

- » Chez enfant PC, résultats très proches de l'enfant TD sur la cinématique
- » MAIS **stratégie de propulsion différente** → augmentation des fléchisseurs de hanche et de genou en phase oscillante pour compenser la faiblesse du soleus en pré-oscillant
- » Les besoins : **Augmenter notre effectif**

## CONCLUSION: Impact clinique et perspectives

- » Le tapis roulant est intéressant comme **outil de rééducation**, à compléter par les mains du kinésithérapeute ou la stimulation verbale.
- » MAIS SURTOUT **augmentation des courses articulaires** (++) parce que mobilisation active → prévention des troubles secondaires et tertiaires) et **augmentation de l'activation musculaire**
- » Aide à la validation de nos techniques de rééducation



## CONCLUSION: Impact clinique et perspectives

- » Proposition de ce protocole à d'autres enfants PC ayant d'autres problématiques de marche (hémiplégiques, diplégiques avec stiff knee gait<sup>1</sup>...)
- » Quels arguments pour quels appareillages? Les chaussures à **talon inversé** sont-elles la solution? <sup>2, 3</sup>



<sup>1</sup> Rodenbusch et al. 2013, <sup>2</sup> Beyaert et al. 2014, <sup>3</sup> Xian Li et al. 2007

## REMERCIEMENTS

- » Financement de la Fondation Motrice
- » Dr Raphaël GROSS et Aurélie SARCHER
- » Réseau de rééducateurs en neuropédiatrie de la région nantaise
- » Mais surtout.... **Les enfants et leurs familles**

Si vous avez des questions...

