

# EVALUATION QUANTIFIEE DU MOUVEMENT DANS LA PARESIE SPASTIQUE



Dr Raphaël Gross, MCU-PH

Service de MPR neurologique – Laboratoire d'Analyse du Mouvement CHU Nantes

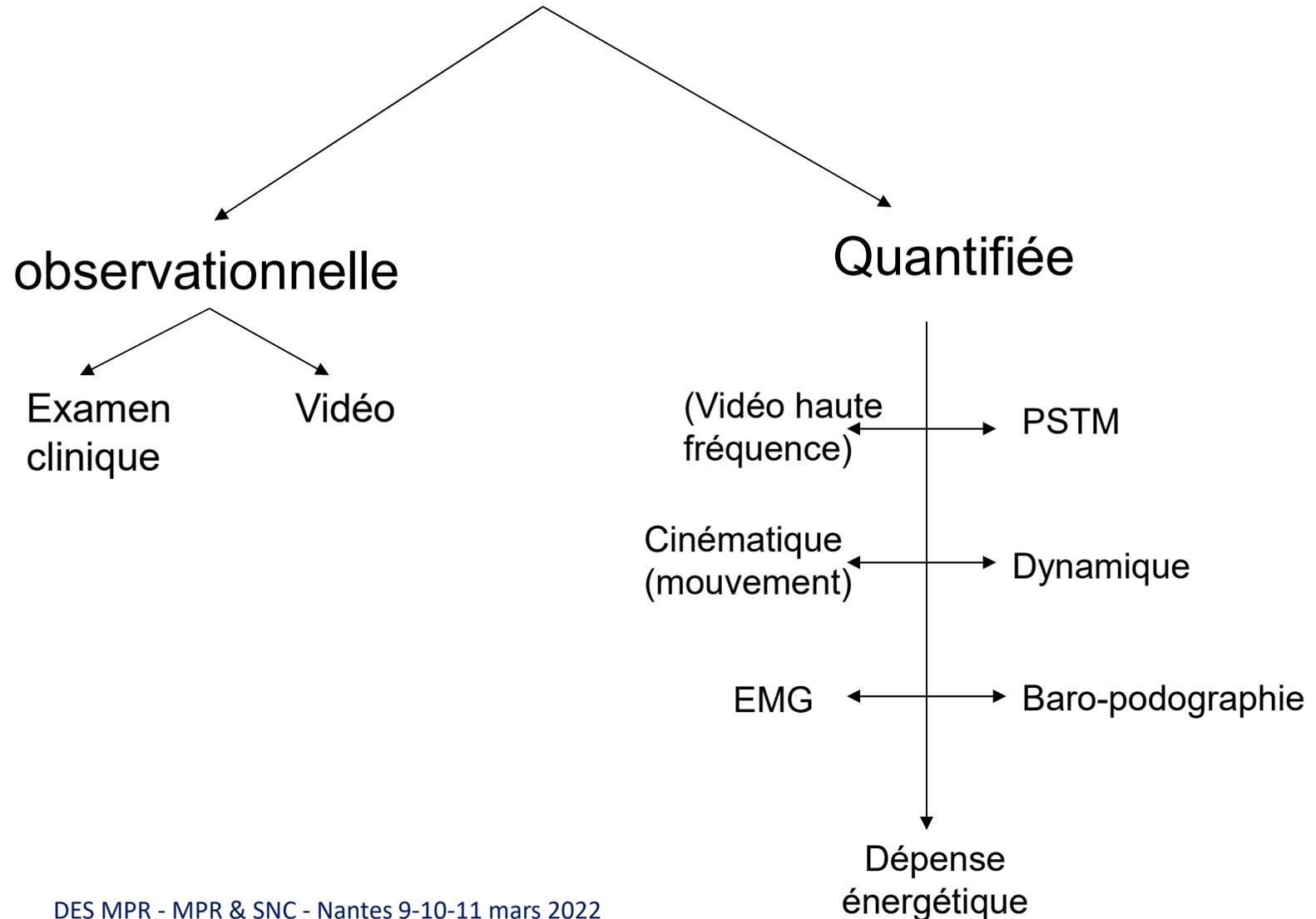


# ANALYSE QUANTIFIÉE DU MOUVEMENT ?

## → ANALYSE INSTRUMENTALE

- Transformer la marche, phénomène biomécanique, en données numérisées et en courbes.
- Evaluation multimodale simultanée de la marche en tant que phénomène biomécanique.

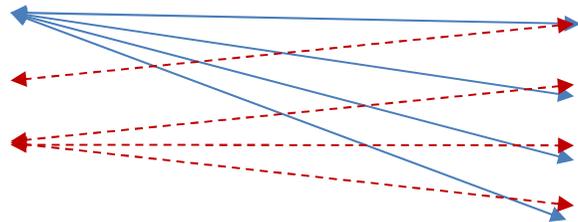
# Analyse clinique de la marche



# Analyse de la marche

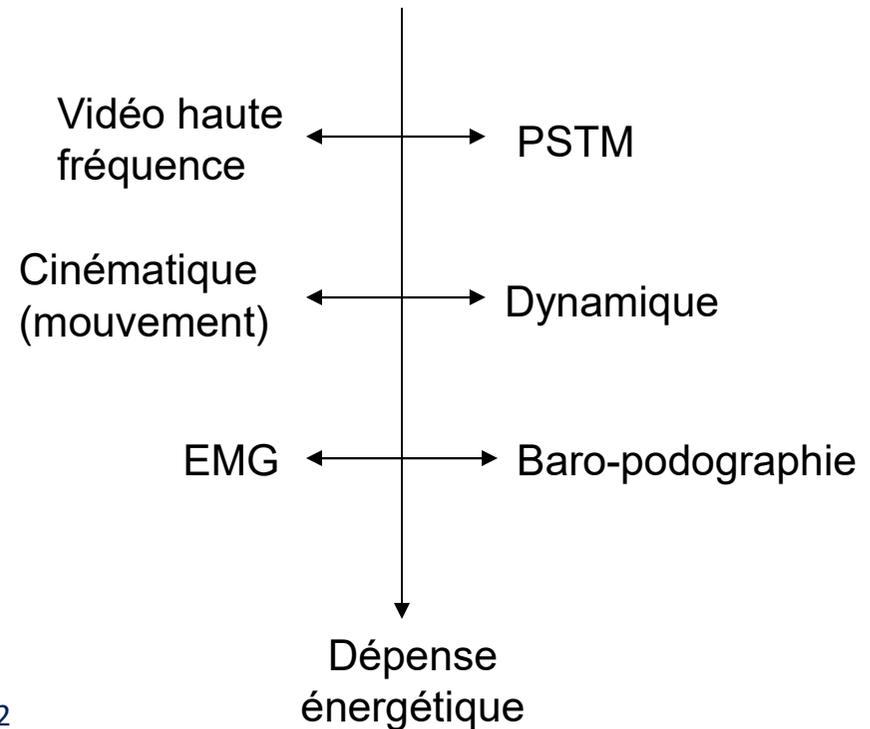
QUANTIFIER QUOI ?  
INSTRUMENTER pour quelle MESURE ?

Paramètres mesurés Outils de mesure



- Nombreuses combinaisons /  
variantes d'évaluation

Quantifiée



# Analyse de la marche

## MESURE par TAPIS DE PRESSION

Quantifiée

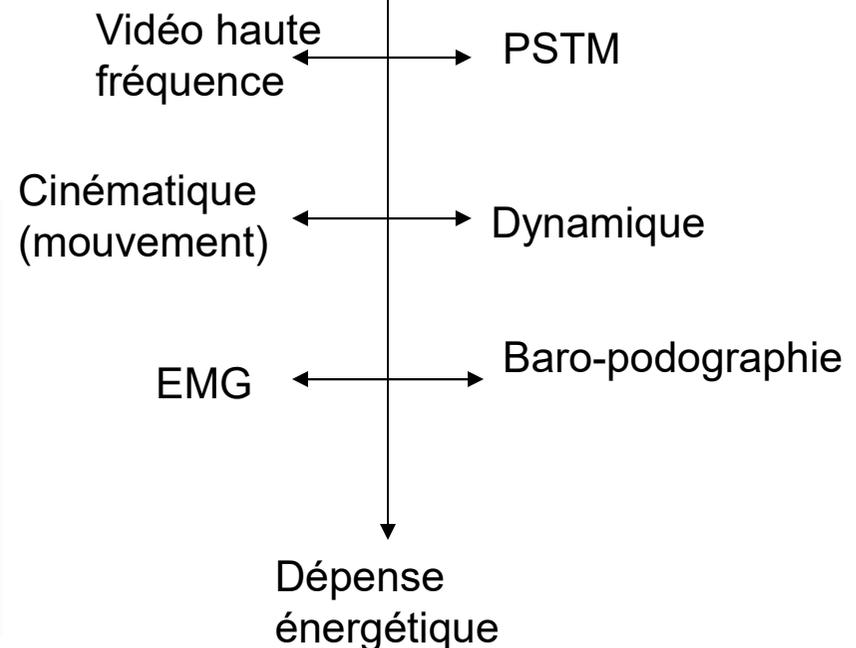
EXEMPLE : GAITRITE®



TAPIS DE REPARTITION DE PRESSION POUR L'ANALYSE DES

**GAITRite**

Le système d'analyse de la marche **GAITRite** fournit sans effort une analyse des paramètres spatio-temporels : une marche sur un GAITRite ne nécessite aucune préparation du patient. Il lui suffit de marcher sur la surface active pour obtenir les caractéristiques détaillées de sa marche et ce de façon immédiate.



# QCM n°1

- Un système d'analyse par nappes de pression permet d'obtenir :
  - A. La cinématique de la marche (mouvement des segments corporels)
  - B. La dynamique de la marche (forces/moments/puissances)
  - C. Les paramètres spatio-temporels de la marche
  - D. La répartition des pressions pendant la phase d'appui.
  - E. La vitesse de marche

# QCM n°1

- Un système d'analyse par nappes de pression permet d'obtenir :
  - A. La cinématique de la marche (mouvement des segments corporels)
  - B. La dynamique de la marche (forces/moments/puissances)
  - C. Les paramètres spatio-temporels de la marche**
  - D. La répartition des pressions pendant la phase d'appui.**
  - E. La vitesse de marche**



TAPIS DE REPARTITION DE PRESSION POUR L'ANALYSE DES  
PARAMETRES SPATIO-TEMPORELS DE LA MARCHÉ

**GAITRite**

Le système d'analyse de la marche **GAITRite** fournit sans effort une analyse des paramètres spatio-temporels : une marche sur un GAITRite ne nécessite aucune préparation du patient. Il lui suffit de marcher sur la surface active pour obtenir les caractéristiques détaillées de sa marche et ce de façon immédiate.



# Analyse de la marche

## MESURE par TAPIS DE PRESSION



TAPIS DE REPARTITION DE PRESSION POUR L'ANALYSE DES PARAMETRES SPATIO-TEMPORELS DE LA MARCHE

*GAITRite*

Le système d'analyse de la marche *GAITRite* fournit sans effort une analyse des paramètres spatio-temporels : une marche sur un *GAITRite* ne nécessite aucune préparation du patient. Il lui suffit de marcher sur la surface active pour obtenir les caractéristiques détaillées de sa marche et ce de façon immédiate.



DES MPR - MPR & SNC - Nantes 9-10-11 mars 2022

Quantifiée

Vidéo haute fréquence

**PSTM**

+/- Cinématique (mouvement)

Dynamique

EMG

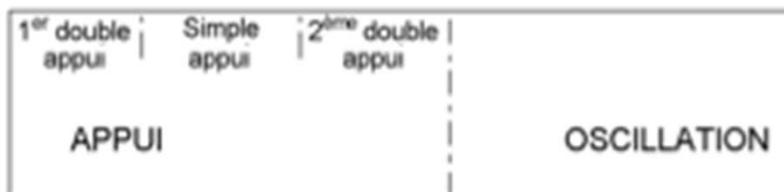
**+/- Baropodographie**

+/- Dépense énergétique

Membre Droit

Membre Gauche

Sujet témoin



### Paramètres Spatio-Temporels

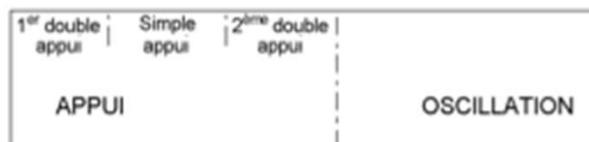
	Gauche	Droit	Sujet témoin
Vitesse (m/s)	1.50 ± 0.00	1.48 ± 0.01	
Cadence (pas/min)	60.61 ± 0.00	60.01 ± 0.85	
Durée (s)	0.99 ± 0.00	1.00 ± 0.01	
Long. Pas (m)	1.48 ± 0.00	1.48 ± 0.00	
Long. Demi-pas (m)	0.74 ± 0.00	0.74 ± 0.04	

...

# PSTM : Interprétation

paramètres spatio-temporels de la marche

Membre Droit    Membre Gauche    Sujet témoin



Paramètres Spatio-Temporels	Droit		Sujet témoin
	Gauche	Droit	
Vitesse (m/s)	1.50 ± 0.00	1.48 ± 0.01	
Cadence (pas/min)	60.61 ± 0.00	60.01 ± 0.85	
Durée (s)	0.99 ± 0.00	1.00 ± 0.01	
Long. Pas (m)	1.48 ± 0.00	1.48 ± 0.00	
Long. Demi-pas (m)	0.74 ± 0.00	0.74 ± 0.04	
Larg. Pas (m)	0.11 ± 0.00	0.07 ± 0.03	
Phase d'appui (s)	0.59 ± 0.00	0.62 ± 0.01	
Phase d'appui (%)	59.60 ± 0.00	61.50 ± 0.16	
1 <sup>er</sup> double appui (%)	11.11 ± 0.00	10.51 ± 0.86	
Simple appui (%)	38.38 ± 0.00	39.50 ± 0.15	
2 <sup>ème</sup> double appui (%)	10.10 ± 0.00	11.50 ± 0.54	
Phase d'oscillation (s)	0.40 ± 0.00	0.38 ± 0.01	
Phase d'oscillation (%)	40.40 ± 0.00	38.50 ± 0.16	
Gillette Gait Index	NaN	NaN	
Gait Deviation Index	0.00	0.00	

PSTM renseignent sur :

- **performances globales** de la marche

- **contrôle moteur** droit/gauche (proportion appui/oscillation)

- **équilibre** (double-appui, largeur du pas)

INTERET POUR OBJECTIVER / EVALUER PROGRES LIES A UNE INTERVENTION

THERAPEUTIQUE :

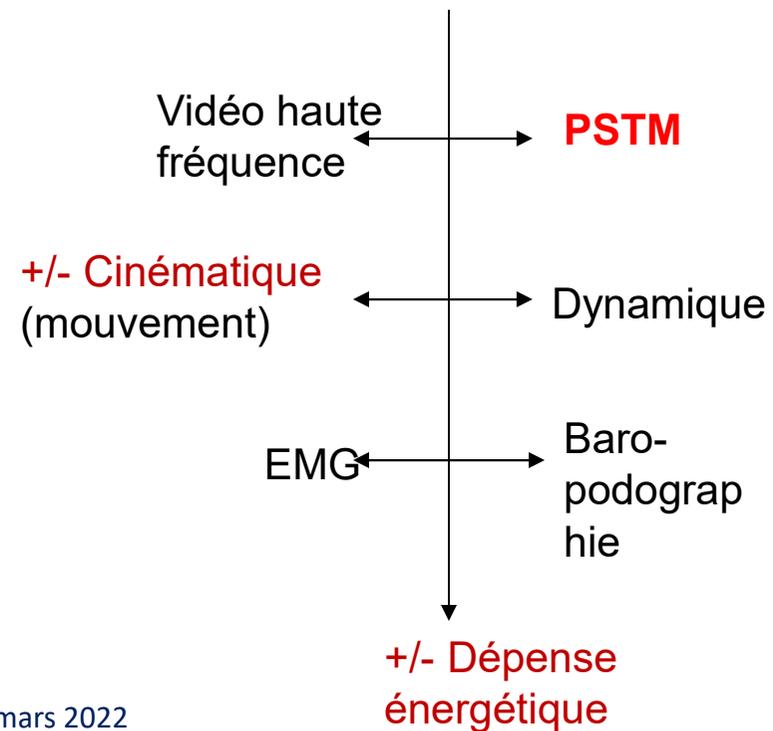
- Performances globales
- Symétrie
- équilibre

# Analyse de la marche

**CENTRALES INERTIELLES**



Quantifiée

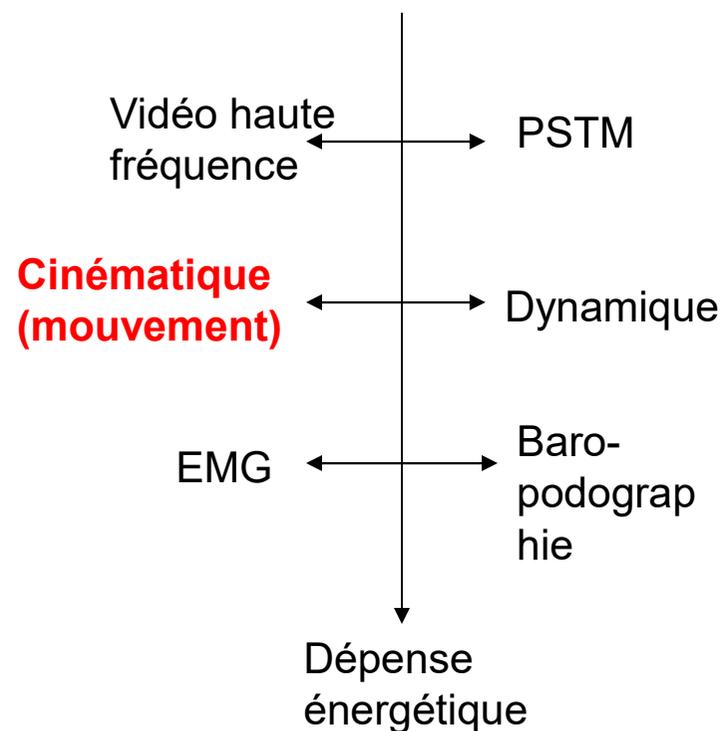
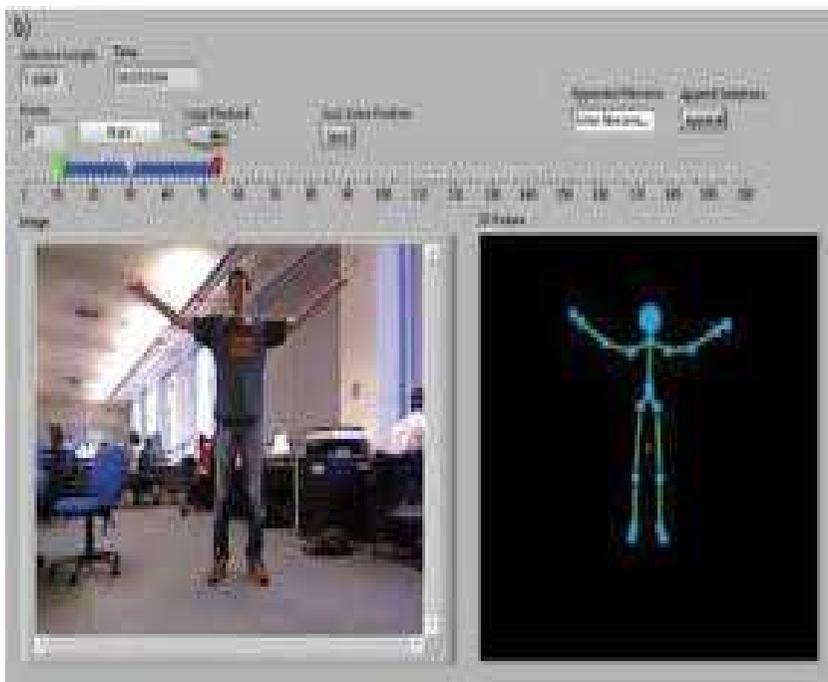


# Analyse de la marche



KINECT® : reconnaissance couleur/mouvement

Quantifiée





# Laboratoire d'AQM : outils

Outil cinématique complexe : Analyse cinématique 3D  
Système de capture du mouvement avec marqueurs actifs ou passifs  
(ci-dessous passifs)



- Pièce de vastes dimensions
- Caméras vidéos haute résolution temporelle (  $\approx 100$  Hz)
- Marqueurs opto-électroniques
- Emetteurs-récepteurs = caméras émettant rayonnement dans un spectre proche de l'infrarouge
- Plate-forme de forces
- Electrodes EMG et ampli : (filaire ou wi-fi, surface ou intra-musculaire,
- Unité centrale informatique
- Ingénieur +++
- Médecin +

## Quantifiée

Vidéo haute  
fréquence

PSTM

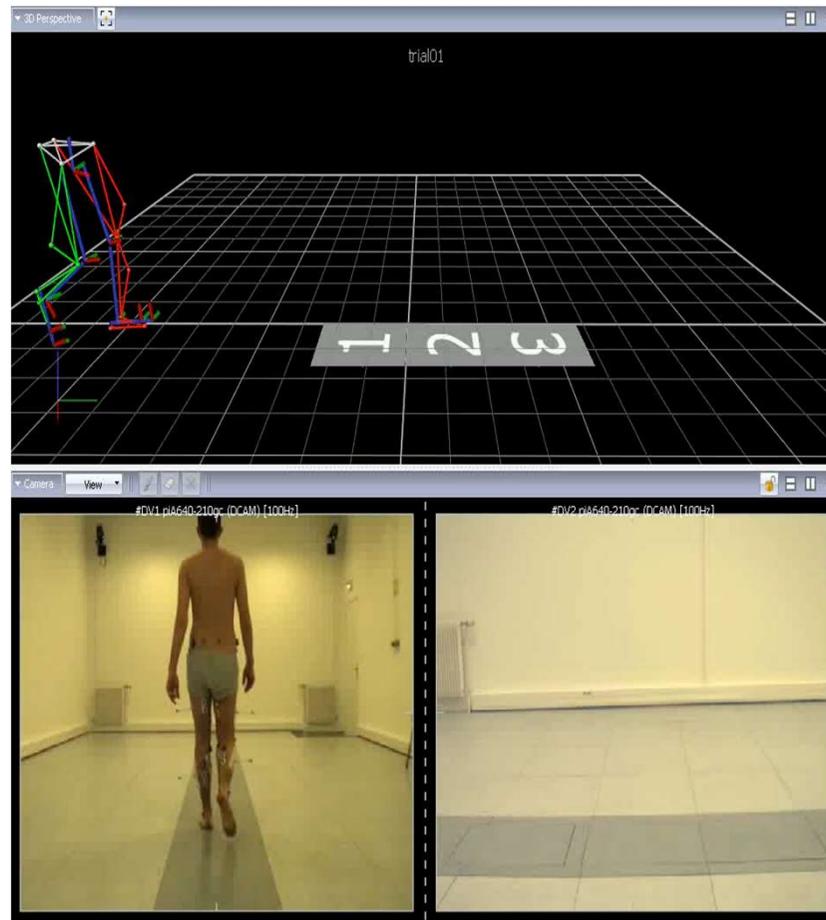
Cinématique  
(mouvement)

Dynamique

EMG



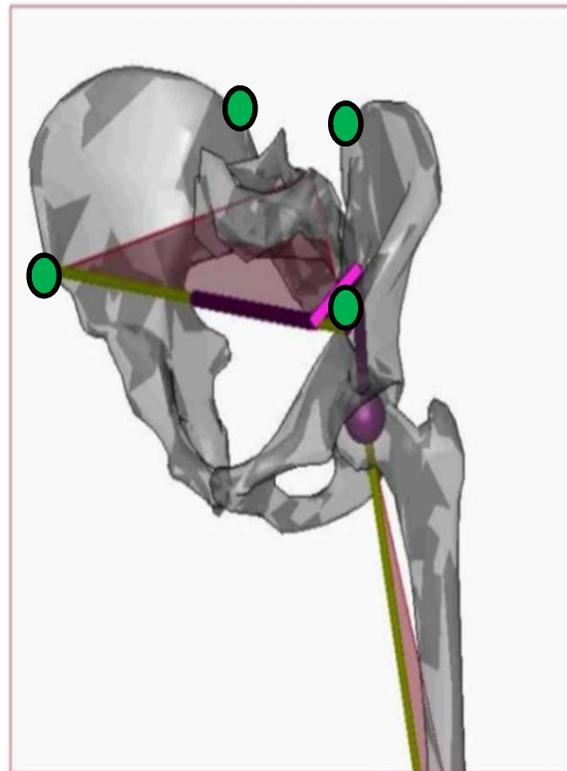
# ANALYSE QUANTIFIEE DE MARCHE : Cinématique



# Cinématique → MODÉLISATION

## Un modèle est toujours *faux*...

Outil cinématique complexe : Analyse cinématique 3D  
Système de capture du mouvement avec marqueurs actifs ou passifs  
(ci-dessous passifs)



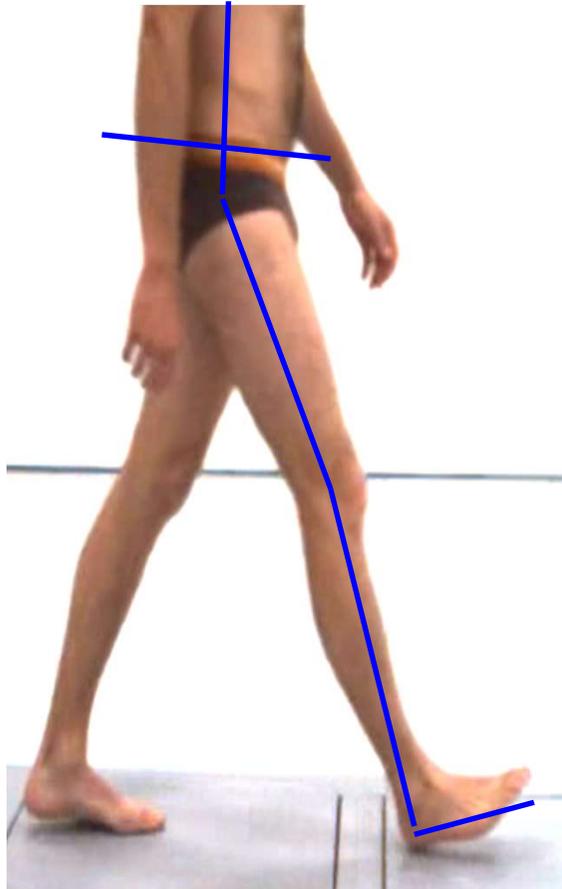
Marqueurs externes EIAS, EIPS, condyles...

Cinématique pertinente = paramètres articulaires

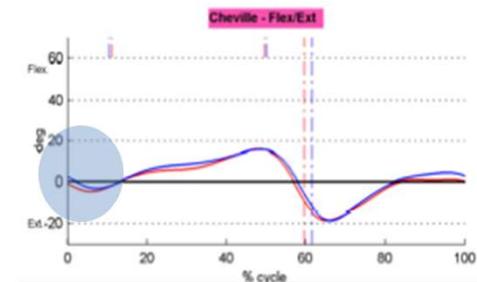
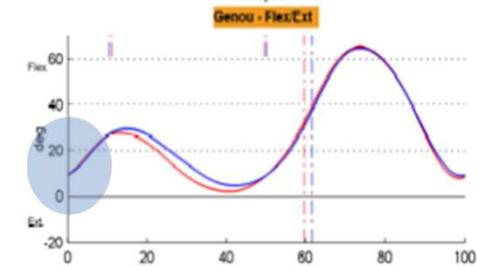
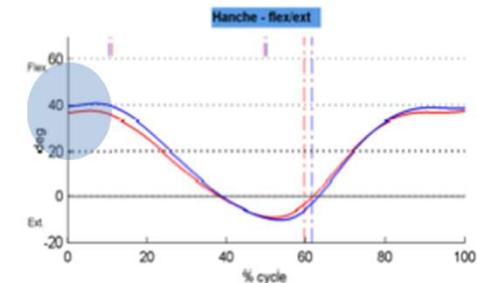
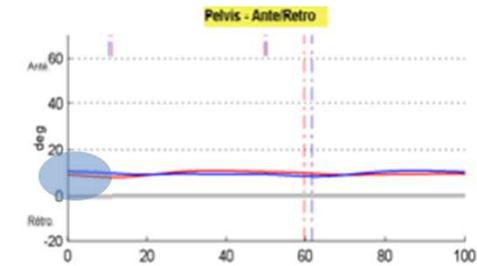
Reconstruction par le modèle du centre articulaire de hanche, genou, cheville...

**≠ données anatomiques**

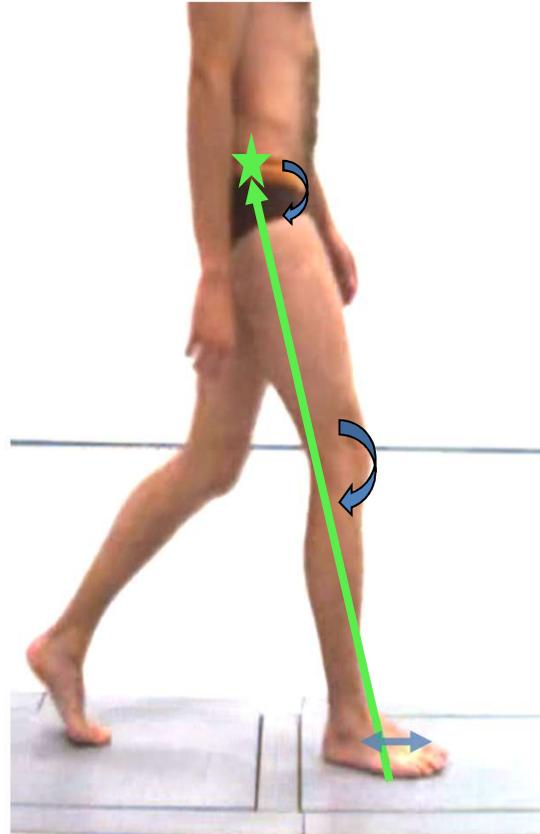
# AOM/AQM : au cours du cycle de marche plan sagittal



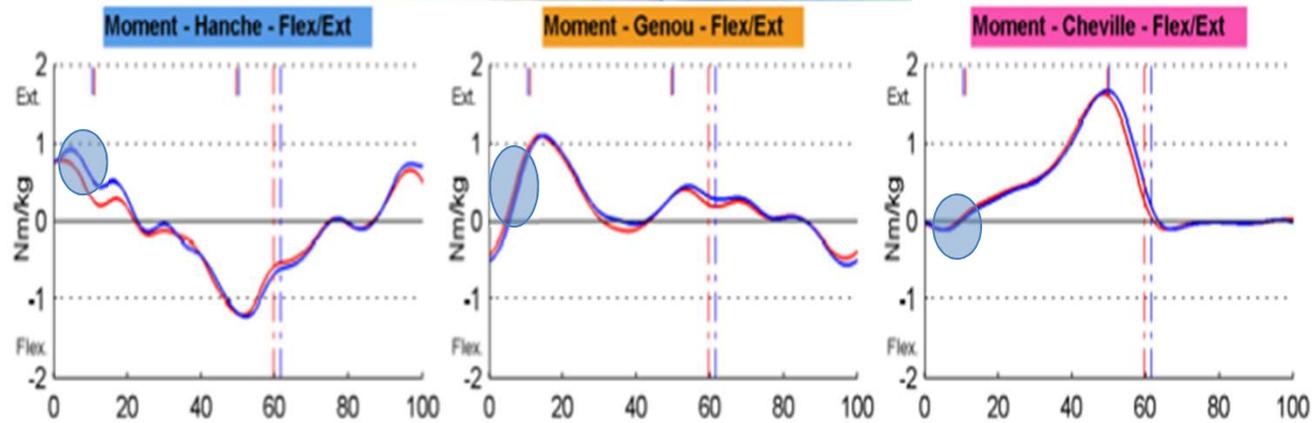
Contact initial pied droit



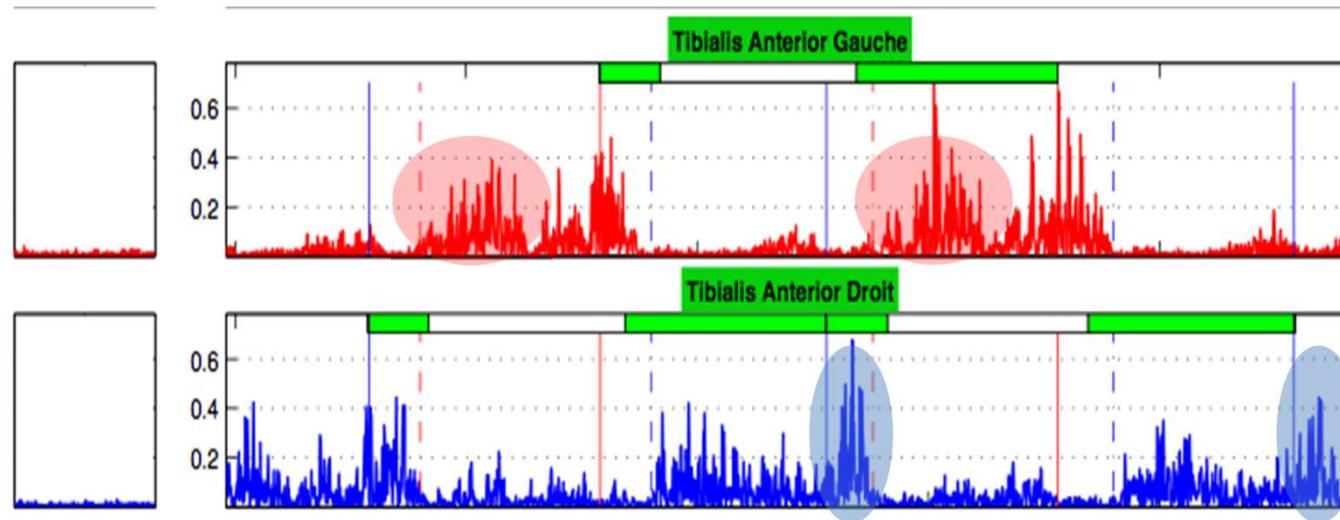
# Interprétation dynamique : moments et vecteur FRS



**Loading response :**  
moments fléchisseurs :  
amorti de la charge



# AQM et EMG : exemple du tibial antérieur



Activité monophasique : du toe-off à la fin de la mise en charge. 2 périodes de recrudescence d'activité : début d'oscillation (contraction concentrique pour relever le pied) et après le CI (contraction excentrique pour freiner la FP de cheville)

# A quoi sert l'AQM?

- Outil de *mesure*
- Outil d'*évaluation*

# A quoi ne sert-elle pas?

- A faire un diagnostic de pathologie
- A donner une recette **thérapeutique**

# APPORTS DE L'ÉVALUATION INSTRUMENTALE ?

## « Efficacité Clinique »

Types of efficacy.

Efficacy Type (Numeric)	Efficacy Type	Description
1	Technical	Physical process of obtaining data, including accuracy and reliability of equipment & procedures used in data collection
2	Diagnostic accuracy	Data interpretation, including performance in classifying patients & making diagnoses, interpreting data, identifying measures predictive of good or bad outcomes for specific treatments
2b	Outcome prediction	Gait analysis used to evaluate the efficacy of treatments at group level
3–4 <sup>a</sup>	Diagnostic thinking & treatment	Impact of gait analysis on treatment decision-making and the treatment actually done for individual patients
5 <sup>a</sup>	Patient outcome	Effect on outcomes for individual patients
6	Societal	Cost effectiveness or cost-benefit analysis from societal viewpoint

Wren *et al.* 2020

# Exemple : PC unilatérale spastique G

- Vidéo



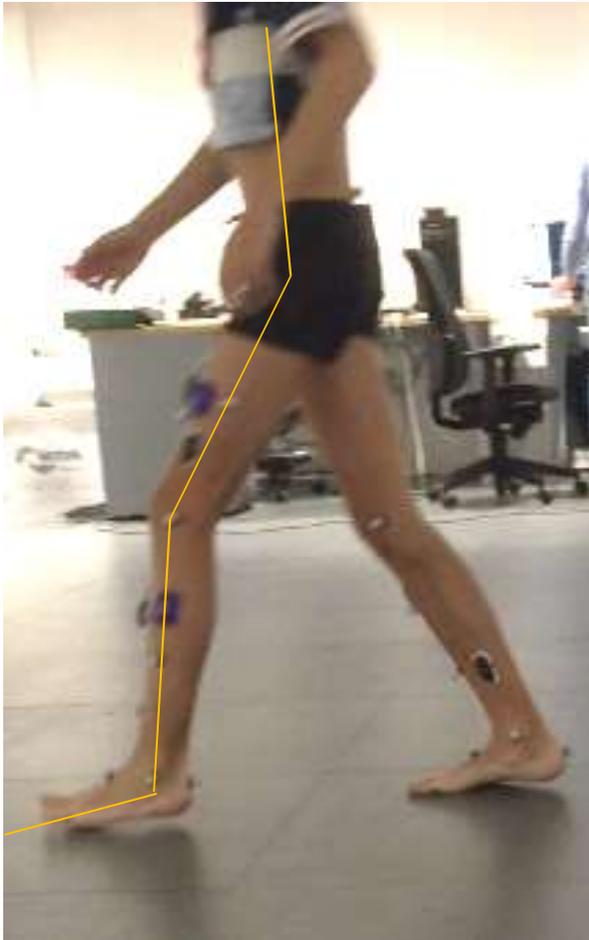
DES MPR - MPR & SNC - Nantes 9-10-11  
mars 2022

# QCM n°3 : pied tombant (« *spastic drop foot* »)



- Juste avant le contact initial...
  - A. A un genou excessivement fléchi ?
  - B. Est en flexion plantaire de cheville ?
  - C. A une flexion de hanche normale ?
  - D. A une insuffisance d'activation du tibial antérieur ?
  - E. A une activation des ischiojambiers ?

# QCM n°3



- Juste avant le contact initial...
  - ➔ A. A un genou excessivement fléchi ?
  - ➔ B. Est en flexion plantaire de cheville ?
  - ➔ C. A une flexion de hanche normale ?
  - ❓ D. A une insuffisance d'activation du tibial antérieur ?
  - ❓ E. A une activation des ischiojambiers ?

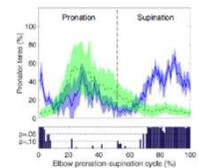
# AQM et Parésie Spastique

- Modifications musculaires (Rétractions ++)
- Hyperactivité musculaires
  - Spasticité
  - Dystonie spastique
  - Cocontractions
  - ...
- Parésie / déficit moteur / fatigabilité pyramidale
- Variabilité inter-individuelle du « phénotype » de parésie spastique

# Limites de *l'évaluation clinique* de la parésie spastique

- Evaluation **locale** (redondance musculaire)
- **Diagnostic différentiel**
  - Parésie vs. cocontraction
  - Hyperactivité musculaire vs. Rétraction
- **Biomarqueurs** : évolution / traitement (*Harvey et al., 2017; Katalinic et al., 2011; Lecharte, Gross, Nordez, & Le Sant, 2020*) ... vs *Pradines et al. 2019*
- **Individualisation des traitements** selon symptôme prédominant (*Ward et al. JRM 2014, Shaw et al. Stroke 2011*)

## EVALUATION INSTRUMENTALE DE LA PARÉSIE SPASTIQUE



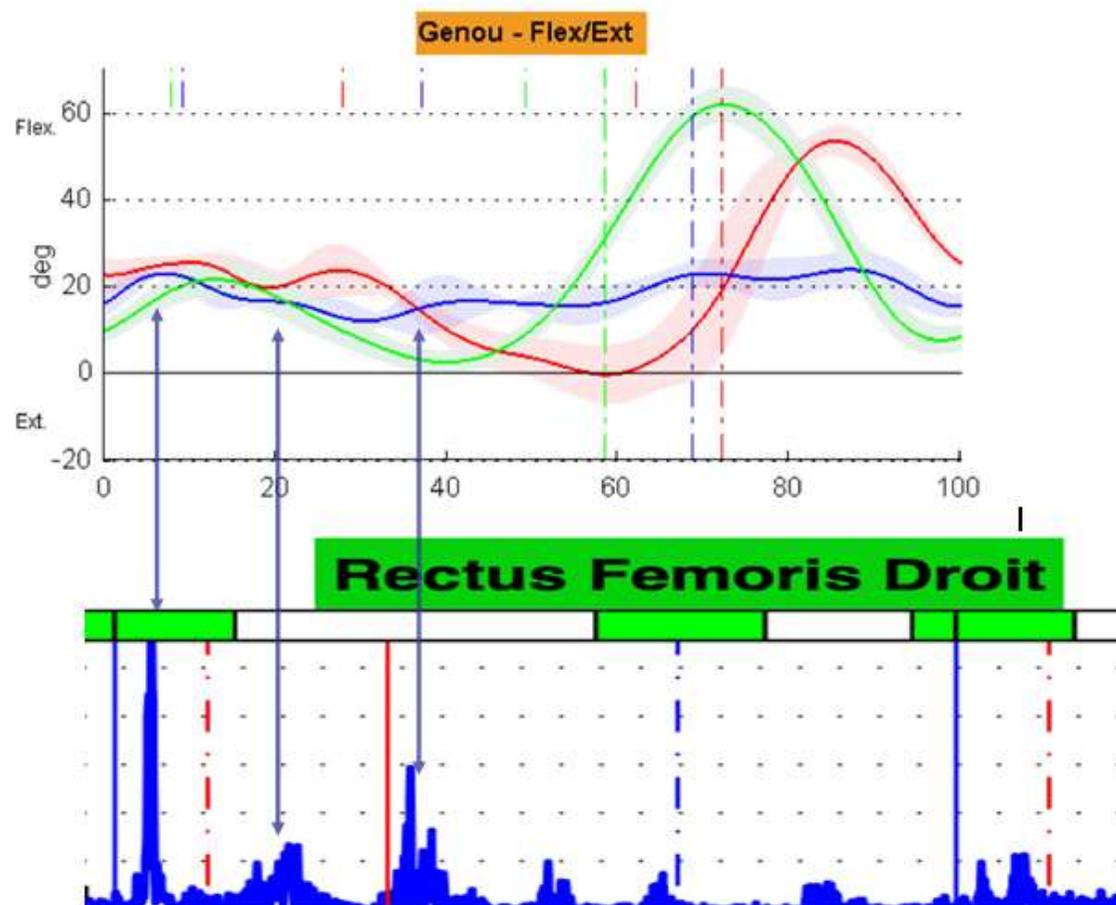
# QCM n°4

- Quelles sont les anomalies motrices de la parésie spastique qui sont identifiables par l'AQM ?
  - A. Les rétractions
  - B. La spasticité
  - C. Les cocontractions
  - D. La parésie
  - E. La fatigabilité motrice

# QCM n°4

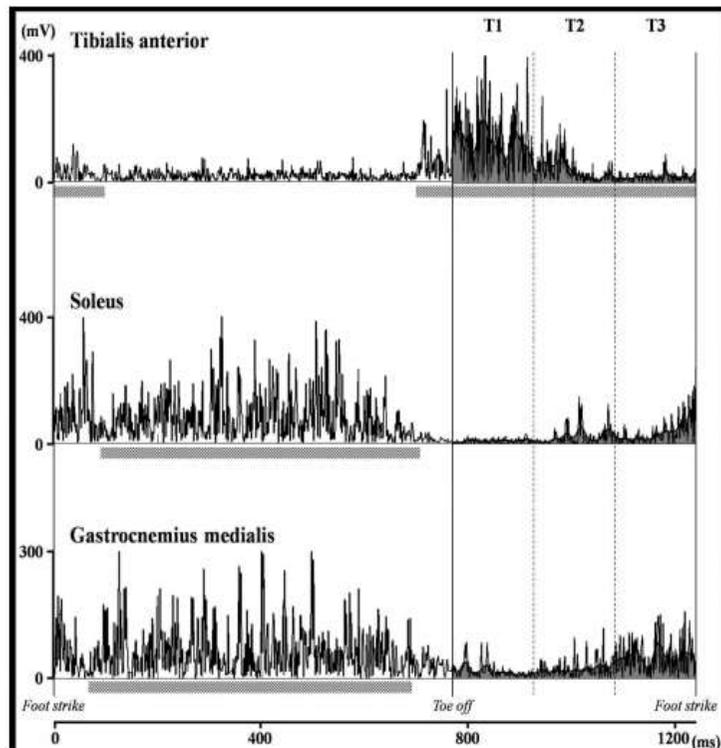
- Quelles sont les anomalies motrices de la parésie spastique qui sont identifiables par l'AQM ?
  - A. Les rétractions
  - B. La spasticité**
  - C. Les cocontractions**
  - D. La parésie +/-
  - E. La fatigabilité +/- (test fatigue)**

# AQM et spasticité



Clonus du quadriceps en phase d'appui

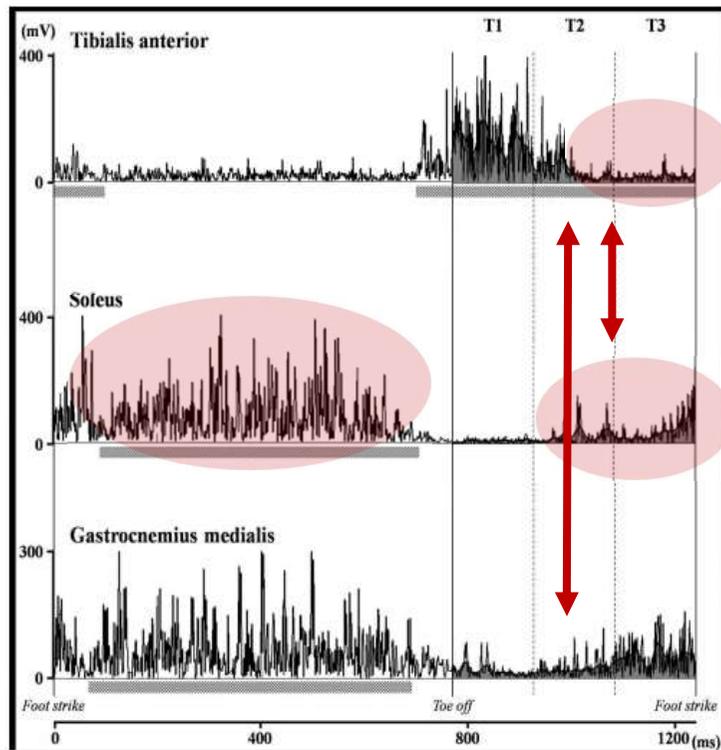
# AQM et EMG dynamique : QCM n°5



Thèse M Ghedira

- A. Le *tibialis anterior* présente un arrêt prématuré.
- B. L'activité du *soleus* est prématurée.
- C. Il existe un clonus du *soleus*.
- D. Il existe des cocontractions du *soleus* en phase oscillante.
- E. Il existe des cocontractions du GCN m en phase oscillante.

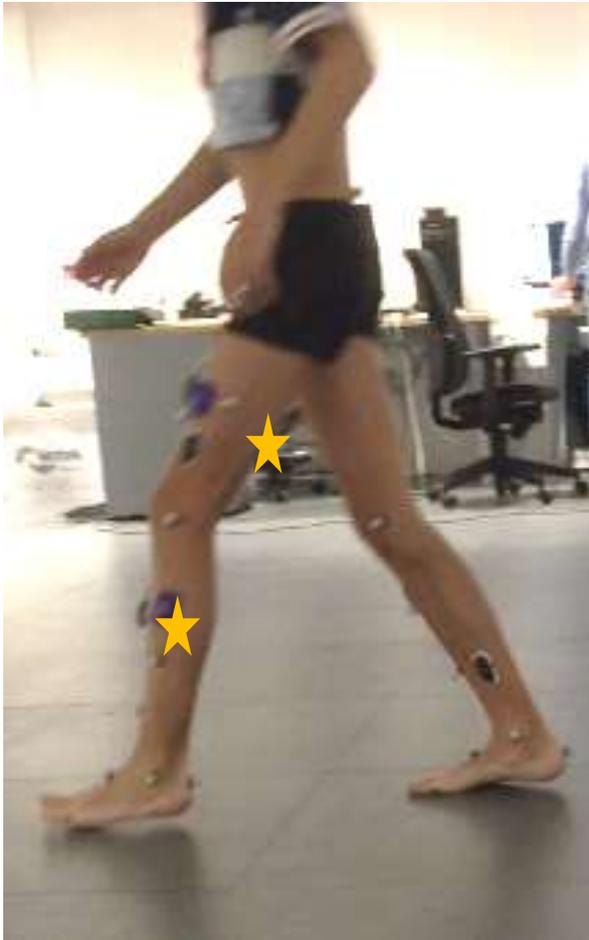
# AQM et EMG dynamique : QCM n°5



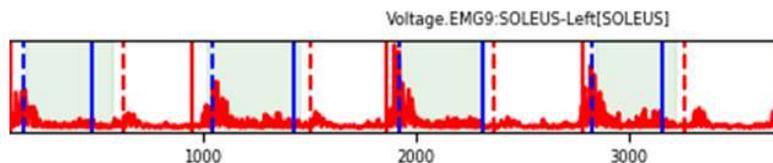
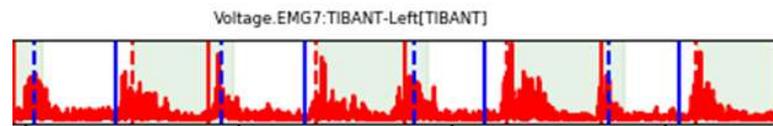
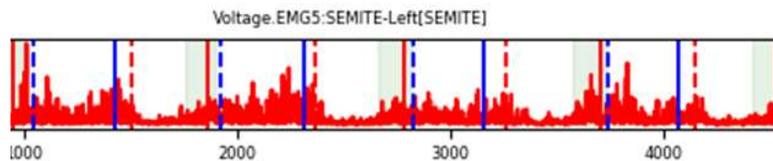
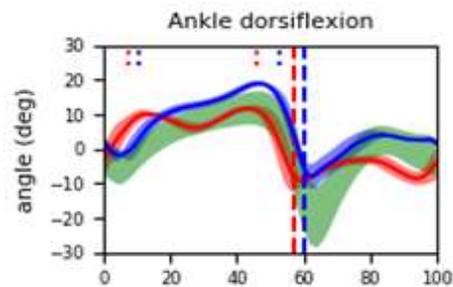
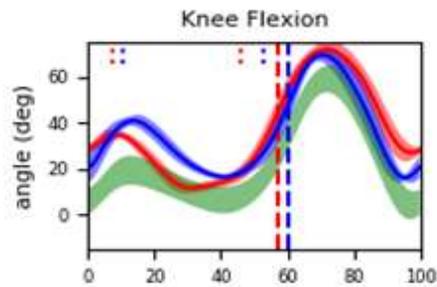
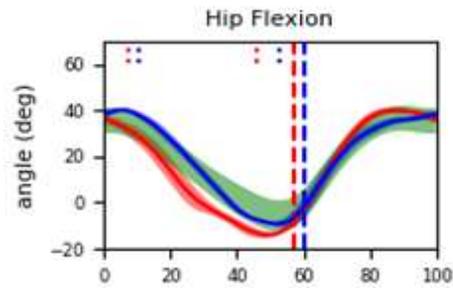
Thèse M Ghedira

- A. Le *tibialis anterior* présente un arrêt prématuré. 
- B. L'activité du *soleus* est prématurée. 
- C. Il existe un clonus du *soleus*.
- D. Il existe des cocontractions du *soleus* en phase oscillante. 
- E. Il existe des cocontractions du GCN m en phase oscillante. 

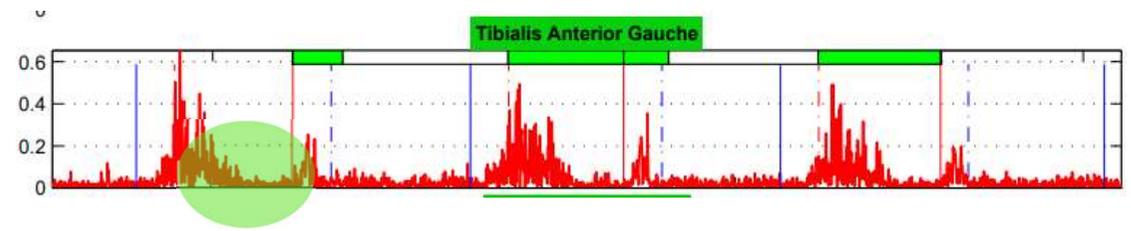
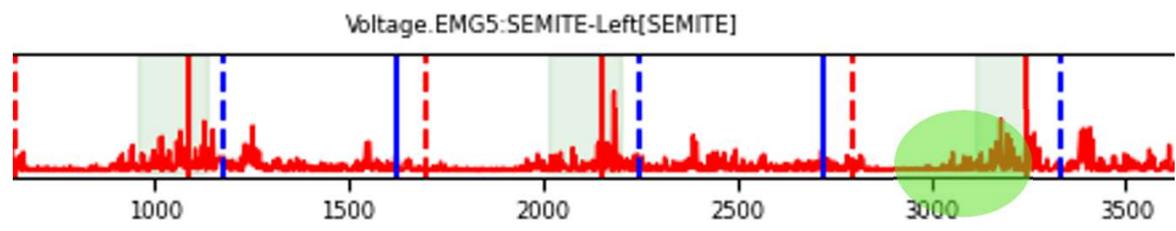
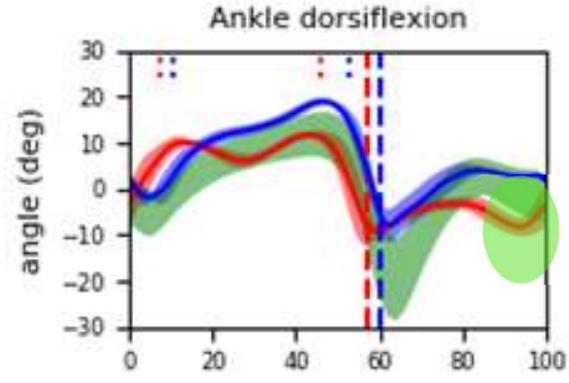
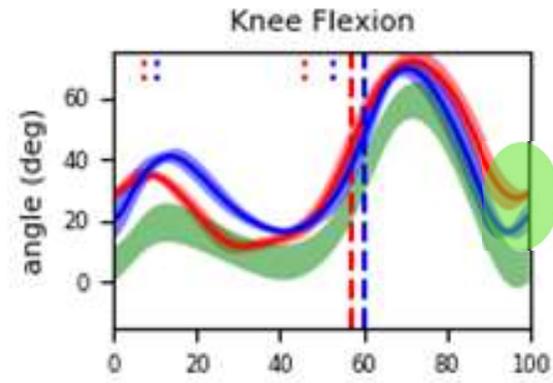
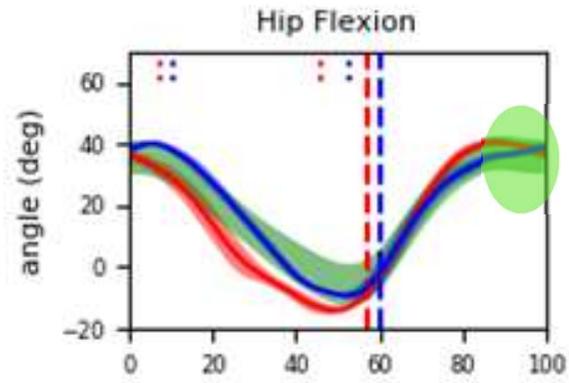
# QCM n°6



- En fin de phase oscillante, ce patient ...
  - A. A un genou excessivement fléchi ?
  - B. Est en flexion plantaire de cheville ?
  - C. A une flexion de hanche normale ?
  - D. A une insuffisance d'activation du tibial antérieur ?
  - E. A une activation des ischiojambiers ?



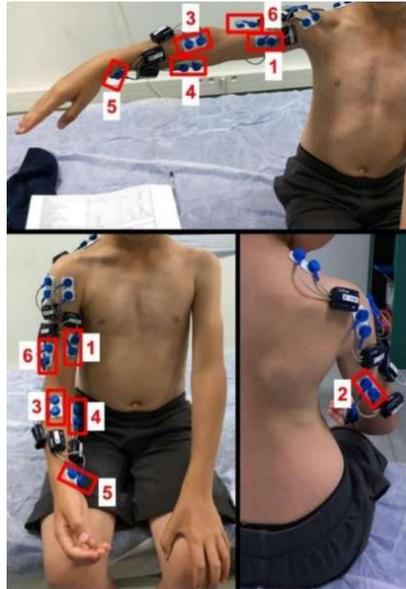
- A. A un genou excessivement fléchi ?
- B. Est en flexion plantaire de cheville ?
- C. A une flexion de hanche normale ?
- D. A une insuffisance d'activation du tibial antérieur ?
- E. A une activation des ischiojambiers ?



# QCM n°6

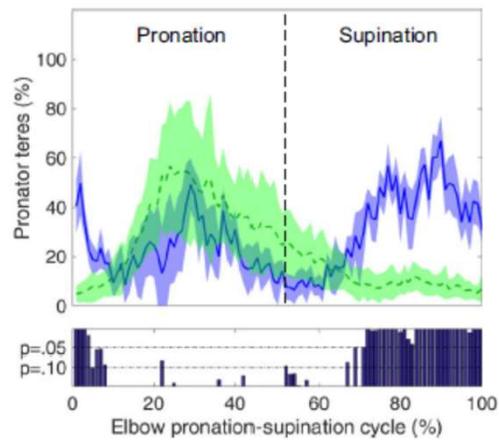


- En fin de phase oscillante, ce patient ...
  - ➔ A. A un genou excessivement fléchi ?
  - ➔ B. Est en flexion plantaire de cheville ?
  - ➔ C. A une flexion de hanche normale ?
  - ➔ D. A une insuffisance d'activation du tibial antérieur ?
  - ➔ E. A une activation des ischiojambiers ?



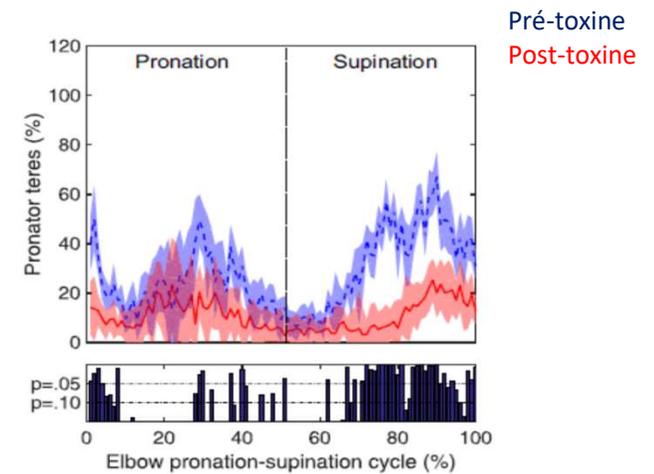
Patterns of upper limb muscle activation in children with unilateral spastic cerebral palsy: Variability and detection of deviations

Aurélie Sarcher<sup>a,b,\*</sup>, Sylvain Brochard<sup>b,c</sup>, François Hug<sup>d</sup>, Guy Letellier<sup>e</sup>, Maxime Raison<sup>f</sup>,  
 Brigitte Perrouin-Verbe<sup>e</sup>, Morgan Sanguex<sup>g</sup>, Raphaël Gross<sup>h,d</sup>



→ Détection cocontraction pronator teres en phase de supination

**capacité de l'EMG à identifier une coactivation pathologique**



**sensibilité au changement de la mesure EMG**

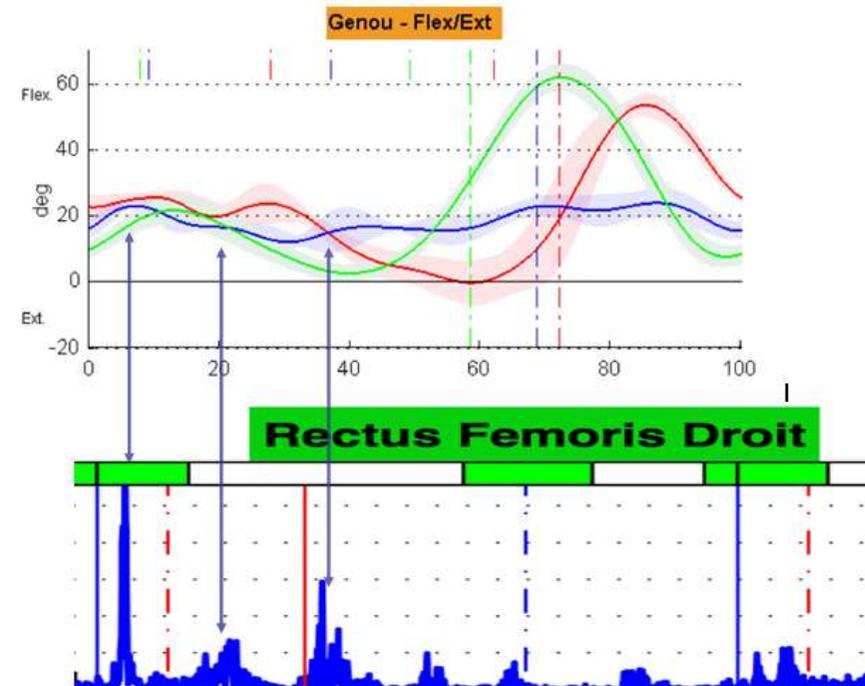
# A quoi sert l'AQM?

Apport diagnostique et  
thérapeutique / AOM

=

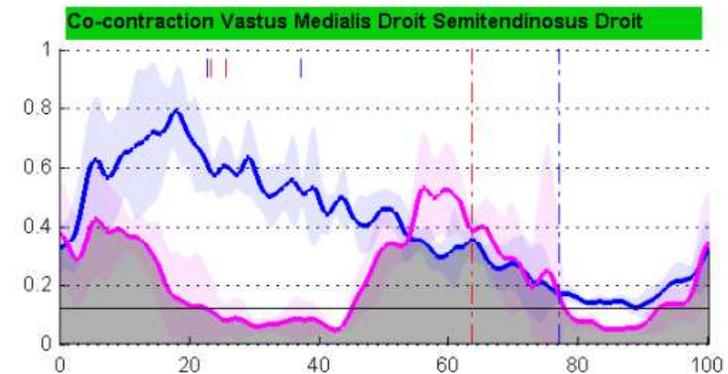
Corrélations

**EMG/cinématique +++**



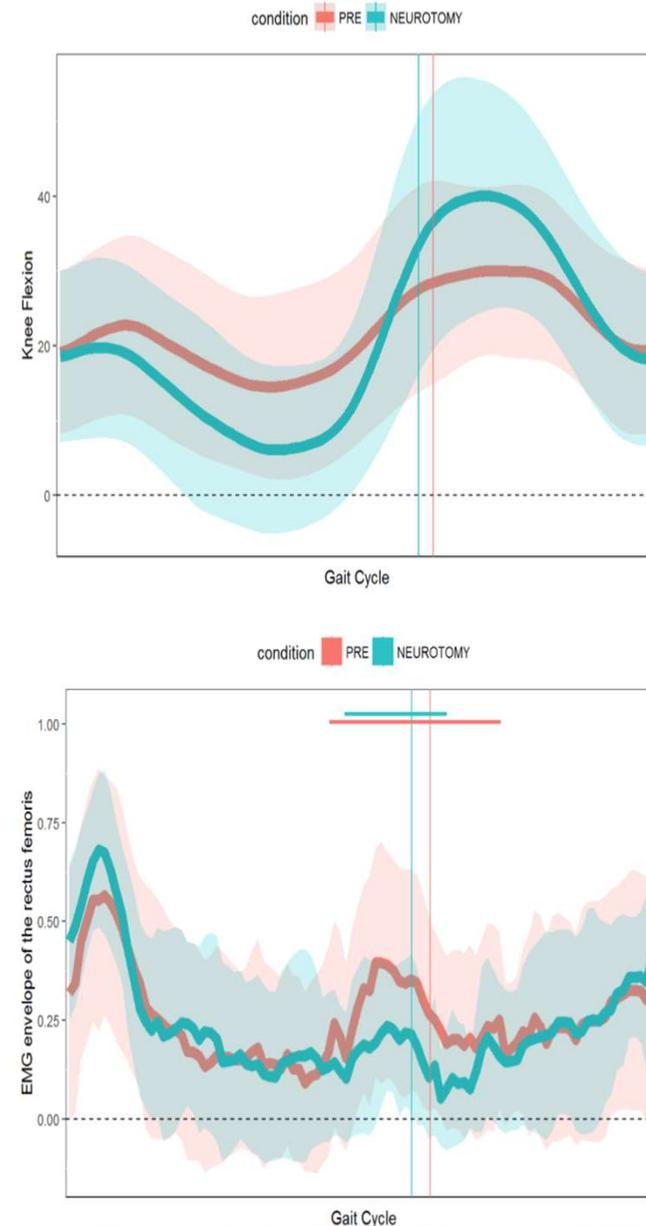
# Attention à l'EMG

- Analyse qualitative
- Quantitatif ?
  - Spasticité oui/non
  - Cocontraction oui/non
  - Dystonie spastique oui/non
  - Parésie ???
- Problème de la corrélation EMG / force



# AQM et BLOCS MOTEURS

- Associer une anomalie de mouvement à une hyperactivité musculaire
- Traiter l'hyperactivité musculaire par BMNS
- Vérifier l'efficacité du BMNS
  - Neurophysiologique
  - cinématique



# AQM et BMNS : exemple 1 – QCM n°7

- Lésion médullaire incomplète AIS D sur myélopathie cervicarthrosique
- Marche avec DFGPO « stiff-knee gait »
- Vidéo

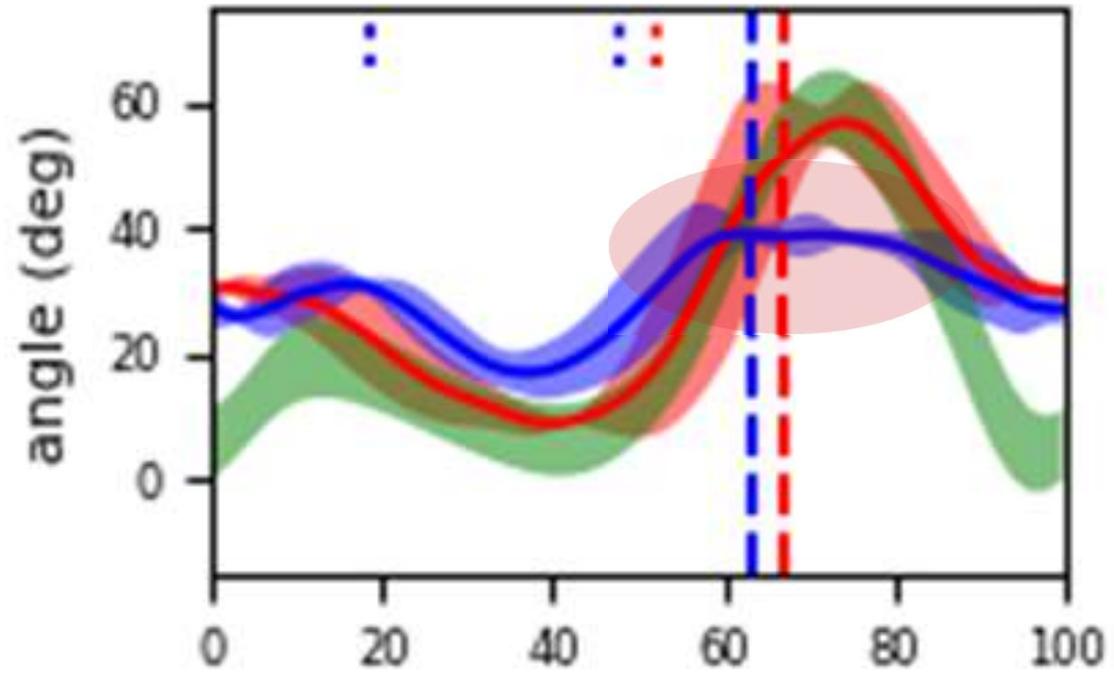


DES MPR - MPR & SNC - Nantes 9-10-11  
mars 2022



DES MPR - MPR & SNC - Nantes 9-10-11  
mars 2022

# Knee Flexion



# QCM n°7

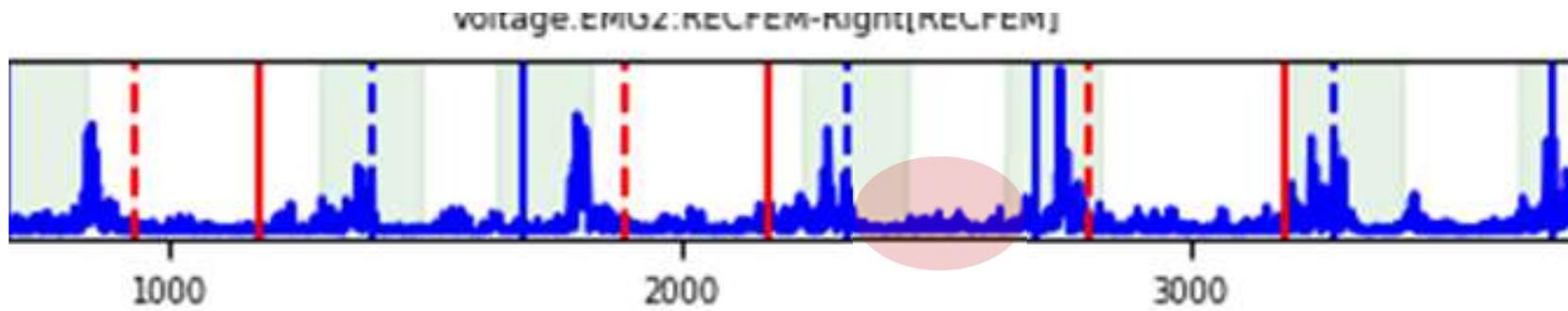
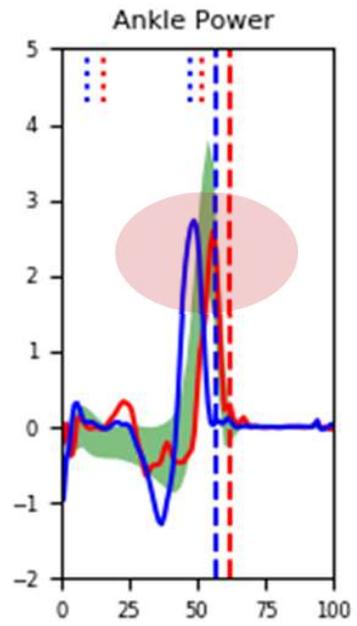
Parmi les propositions suivantes, quelles sont les causes possibles de DFGPO dans la parésie spastique ?

- A. Parésie des fléchisseurs de hanche
- B. Parésie des ischio-jambiers
- C. Activité excessive, inappropriée, du rectus femoris
- D. Activité excessive, inappropriée des ischio-jambiers
- E. Parésie des fléchisseurs plantaires

# QCM n°8

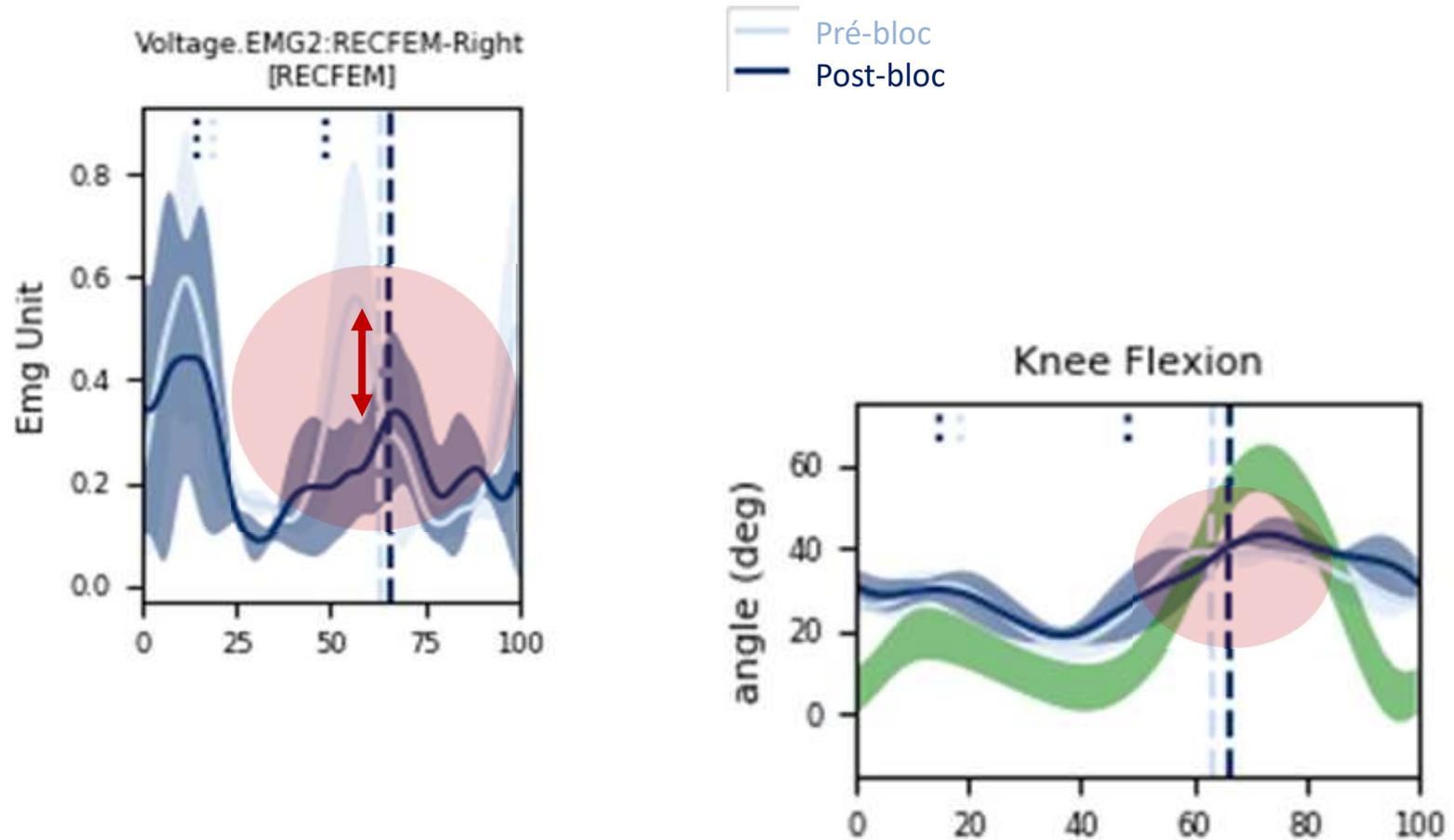
Parmi les propositions suivantes, quelles sont les causes possibles de DFGPO dans la parésie spastique ?

- A. Parésie des fléchisseurs de hanche**
- B. Parésie des ischio-jambiers
- C. Activité excessive, inappropriée, du rectus femoris**
- D. Activité excessive, inappropriée des ischio-jambiers
- E. Parésie des fléchisseurs plantaires**

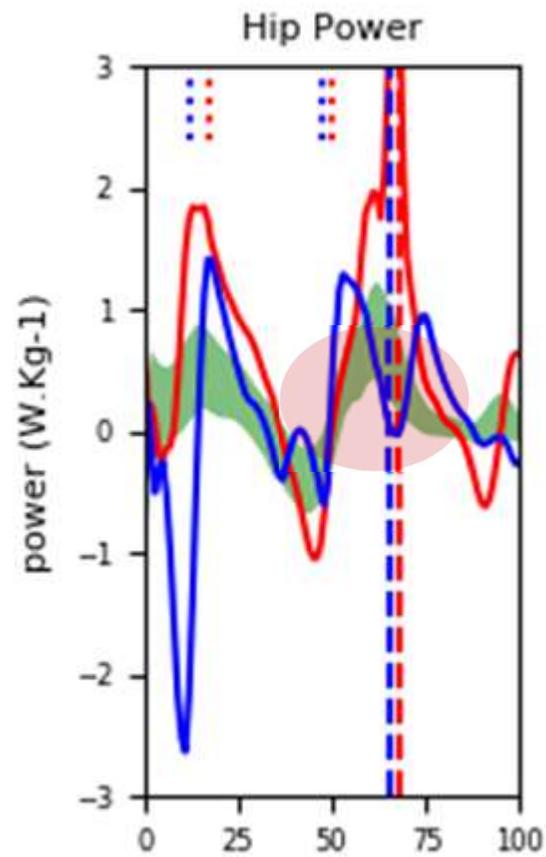




# AVANT / APRES BMNS RF droit



# What about the hip ?



# CONCLUSION

## AQM (et blocs moteurs) dans la PARESIE SPASTIQUE

### Avantages :

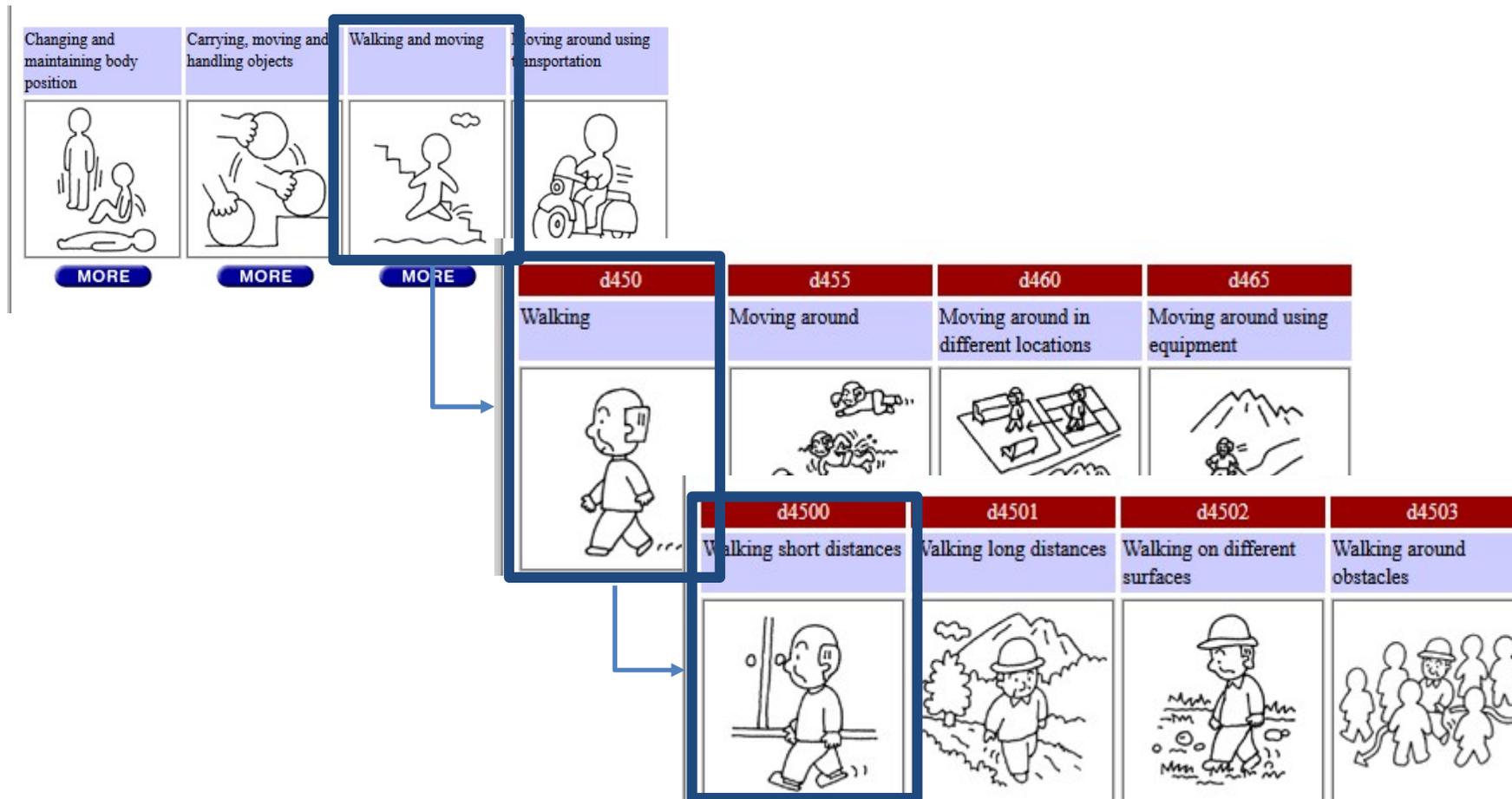
- Arguments objectifs (une mesure vaut mille mensonges...) y compris vis-à-vis du patient
- Analyse simultanée de toutes les articulations : mécanismes de compensation
- Compréhension biomécanique de la physiopathologie
- Surtout si la question n'est pas seulement « hypertonie ou rétraction » : phénomènes dynamiques
- Surtout pour marches « rapides » (clinique insuffisante) et plan sagittal (AQM fiable).

### Inconvénients

- Coût en moyens financiers et humains, en temps
- Sources d'erreurs (position marqueurs, traitement du signal) : nécessité expertise+++
- Problématiques non accessibles : déformations du pied (Oxford foot model ?)
- Corrélation avec la fonction ?

# Role d'un laboratoire d'analyse du mouvement

CAS de la MARCHÉ Quantification d'une infime partie de l'activité



A l'exception de la marche sur courte distance, toutes les autres marches sortent du champ d'évaluation d'un LAM

**SAVE THE DATE: les 28 et 29 juin 2022 en visio**

Le COFEMER vous propose un nouveau module:

## Méthodologies de recherche en MPR

*Des exposés flash-teaser de 20 minutes et la présentation de dossiers ressources où se former sur la méthodologie dont j'ai besoin pour ma thèse*

**OBJECTIF: une thèse avec une méthodo que je maîtrise, sur un sujet qui me plaît et dont les résultats seront utiles...**

... ou comment ne pas me flageller quand j'ai passé 200h pour rien



Il faut que je prenne quoi comme condition contrôle?

J'ai le temps en 2 ans de monter, suivre et exploiter un RCT?

Pourquoi les gens me conseillent un voyage en Equador avant de démarrer mon étude?

Y'a moyen de coder soi-même du calcul numérique pour mes stats ? Parce qu'en vrai Excel ça suffit pas...

Je suis méga à la bourre pour ma thèse, je peux prendre quoi comme sujet?

Comité éthique de la fac? CPP? Comité éthique de l'Université? c'est à qui que je demande une autorisation pour ma recherche?

Je m'y prends comment pour ma revue de littérature?



Excel c'est pas mon truc, vous pouvez me faire un cours base de donnée sans devoir mettre partout des dollar \$ ?

Pourquoi je reçois que des mails qui disent « We regret to inform you that your manuscript has not been accepted for publication »?

Trucs et astuces pour la revue de littérature avec recherche PubMed.  
Comment construire et écrire une méta-analyse  
Trucs et astuces pour une recherche dans les règles  
Trucs et astuces pour une recherche de qualité - boîte à outil  
Les top 10 conseils pour construire et exploiter une base de données sur exc  
Calcul numérique : utilisation d'outils informatiques - boîte à outil  
Ecrire en langage scientifique et communiquer en congrès  
Comment écrire et passer son premier article  
Le timing/organisation du mémoire et de la thèse

RCT et Cross over studies  
N of 1 trials et Méthodologies Cas Unique Expérimentaux (SCED)  
Méthodologies qualitatives  
Construction d'un outil de mesure et Métrologie  
Etudes de couts  
Construire une étude de cohorte  
R&D en MPR, Recherche et validation de dispositifs médicaux