

# Functionnal data analysis applied to neurology

Clément Bonvoisin, Pierre Ludmann

CMLA (ENS Cachan), Cognac-G (Paris V)

09/04/2014

# Plan

- 1 Familiarisation avec le problème
- 2 Segmentation des signaux
- 3 Perspectives

## 1 Familiarisation avec le problème

- Motivations
- Protocole expérimental
- Organisation du stage

## 2 Segmentation des signaux

## 3 Perspectives

# Pourquoi ce travail ?

**Cerveau** humain encore assez mal connu

**Certains** troubles neurologiques sont donc difficiles à diagnostiquer, traîter, comprendre, ...

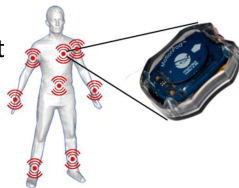
**Utiliser** les outils mathématiques sur les données médicales pour aider le monde hospitalier à développer des traitements efficaces

**Maladies** liées à la marche

# L'expérience et son acquisition

Trajet du patient :

- environ 6 secondes à l'arrêt
- marche sur 10 mètres
- demi-tour
- marche sur 10 mètres



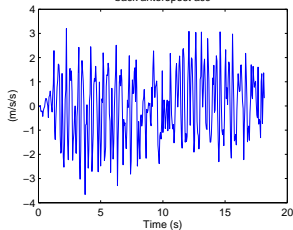
Capture des signaux par des centrales inertielles :

- on s'intéresse à ceux fixées à la ceinture et au pied droit
- accélérations et vitesses angulaires
- enregistrées à 20 Hz/100 Hz
- replacées dans le référentiel  
(antéro-postérieure, medio-latérale, verticale)

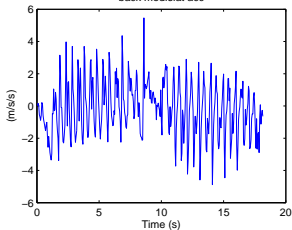
# Les capteurs

# Exemple d'acquisition - Ceinture

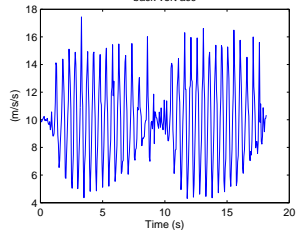
back anteropost acc



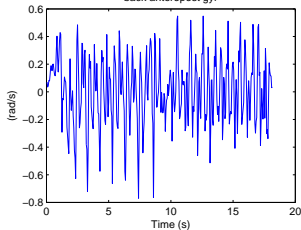
back mediolat acc



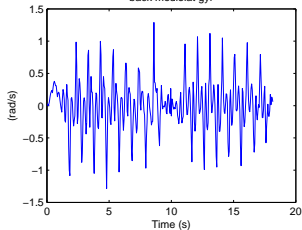
back vert acc



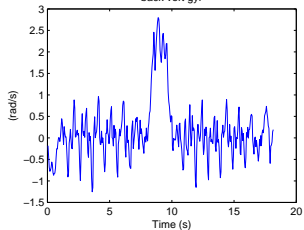
back anteropost gyr



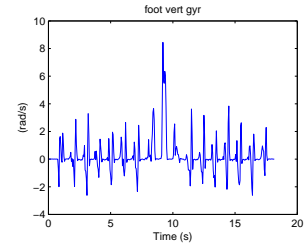
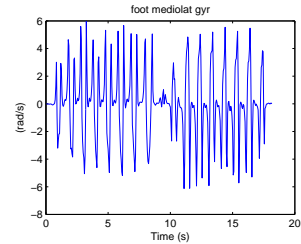
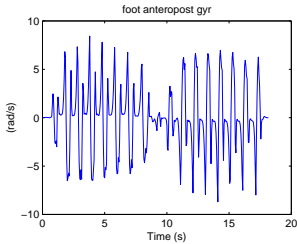
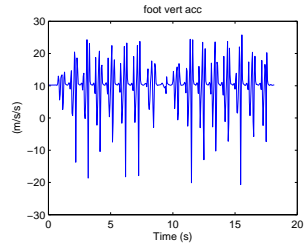
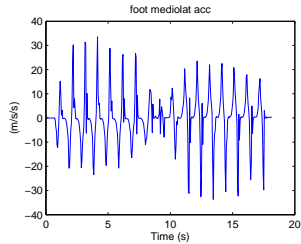
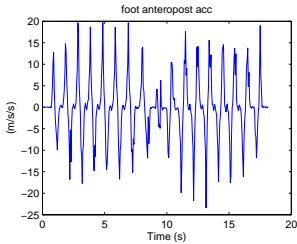
back mediolat gyr



back vert gyr

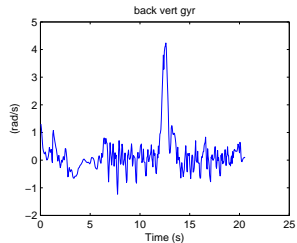
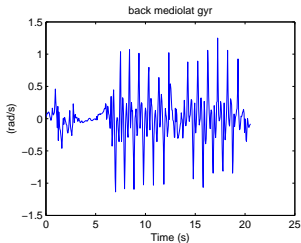
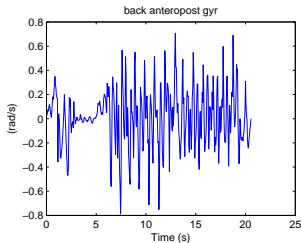
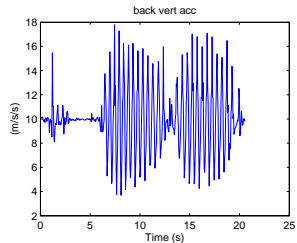
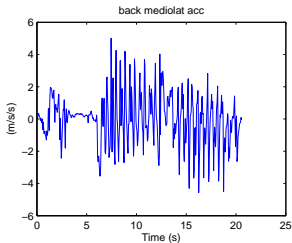
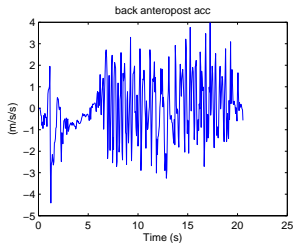


# Exemple d'acquisition - Pied

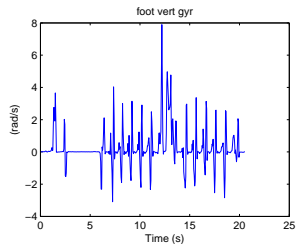
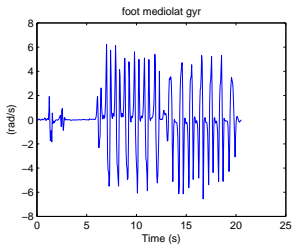
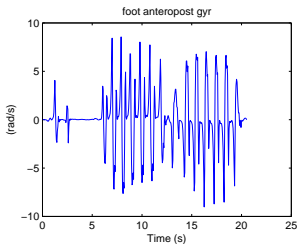
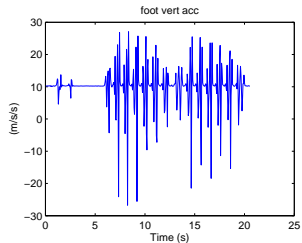
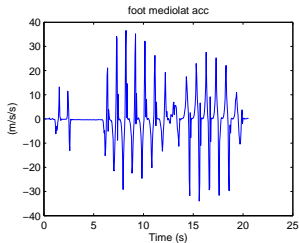
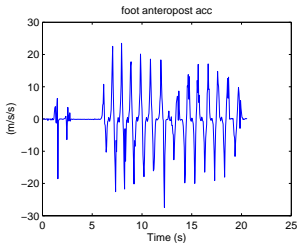




## Exemple d'acquisition 2 - Ceinture



## Exemple d'acquisition 2 - Pied



# Comment faire ?

**Signaux** sous extension .txt ou .csv

⇒ Besoin de procédures pour importer au format .mat

**D'abord** on segmente les signaux selon les différentes phases de l'expérience

**Puis** on analyse les différents segments

**L'affichage** montre clairement les différentes séquences de l'expérience

⇒ La segmentation automatique doit être rapide et précise, au moins autant qu'à l'œil

- 1 Familiarisation avec le problème
- 2 Segmentation des signaux
  - Algorithme CUSUM
  - Hypothèses de travail
  - Premiers résultats
- 3 Perspectives

# Généralités sur l'algorithme CUSUM

**Biblio** *Detection of Abrupt Changes : Theory and Application*,  
M. Basseville, I. V. Nikiforov (1993)

**Proposé** dans *Continuous inspection scheme*, E.S. Page (1954)

**Comparer** l'hypothèse d'un changement à l'hypothèse stationnaire

$$L_k = \ln \left[ \frac{\sup_{\theta_0} \left\{ \prod_{i=1}^{k-1} p_{\theta_0}(y_i) \right\} \cdot \sup_{\theta_1} \left\{ \prod_{i=k}^N p_{\theta_1}(y_i) \right\}}{\sup_{\tilde{\theta}} \left\{ \prod_{i=1}^N p_{\tilde{\theta}}(y_i) \right\}} \right] \quad (1)$$

**Rupture** au temps de vraisemblance logarithmique maximale si  
dépasse un seuil

$$\max_{1 \leq k \leq N} L_k \geq h \Rightarrow t_0 = \arg \max_{1 \leq k \leq N} L_k \quad (2)$$

**Complexité** élevée avec les bornes supérieures : besoin de simplification

## Le choix du gaussien

Signaux supposés suivre une distribution normale :

$$p_{\mu,\sigma}(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (3)$$

**Hypothèse** forte : indépendance temporelle et spatiale

**Paramètre**  $\theta$  : changement brusque de la moyenne et/ou de l'écart-type du signal

**Hypothèse** utile : bornes supérieures atteintes aux estimateurs

## Choix des paramètres - Formules correspondantes

Trois choix possibles :

$\theta = \mu$  : (4) avec  $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$  et  $\sigma$  fixé

$\theta = \sigma$  : (5) avec  $\mu$  fixé et  $\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$

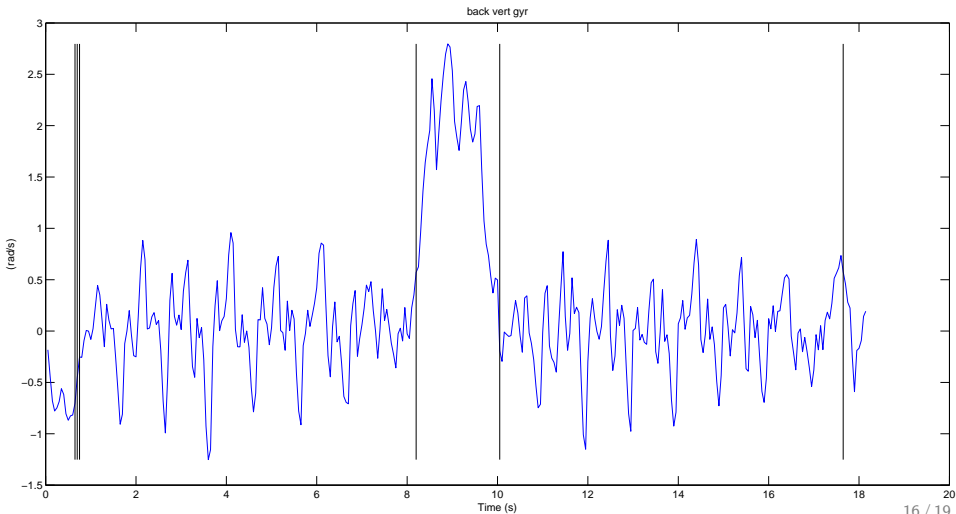
$\theta = (\mu, \sigma)$  : (5) avec  $\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$  et  $\sigma = \frac{1}{n} [\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]$

$$L_k = \frac{1}{2\sigma^2} [(k-1)\mu_0^2 + (N-k+1)\mu_1^2 - N\tilde{\mu}^2] \quad (4)$$

ou

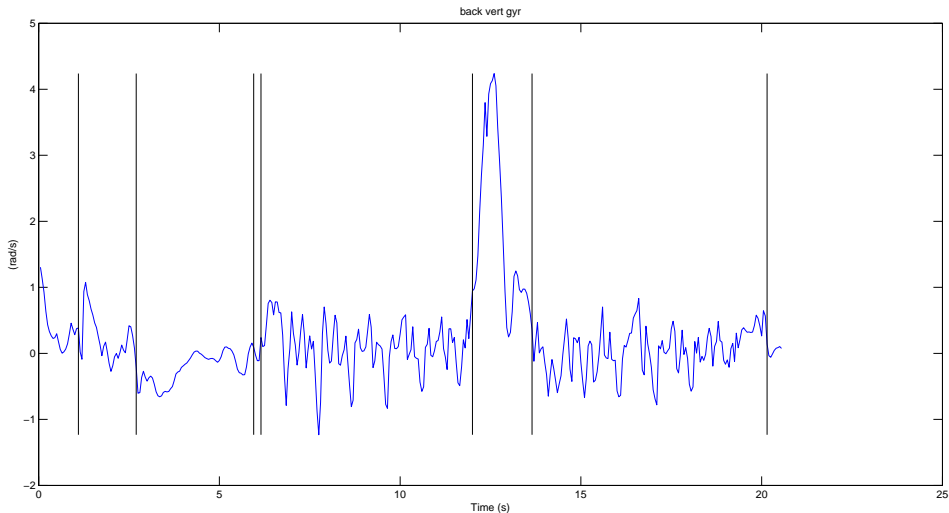
$$L_k = N \ln(\tilde{\sigma}) - (k-1) \ln(\sigma_0) - (N-k+1) \ln(\sigma_1) \quad (5)$$

# Dichotomie sur les normes des accélérations et la rotation propre du dos





# Segmentation sur un signal imparfait



- 1 Familiarisation avec le problème
- 2 Segmentation des signaux
- 3 Perspectives**

## Et maintenant ?

**Finaliser** la segmentation et la valider

**Travail** sur les segments : différencier et détecter les différents types de maladies

⇒ machine learning sur les segments obtenus

**CUSUM** à généraliser sur des signaux quelconques

⇒ adaptation du seuillage, hypothèses moins simplificatrices