

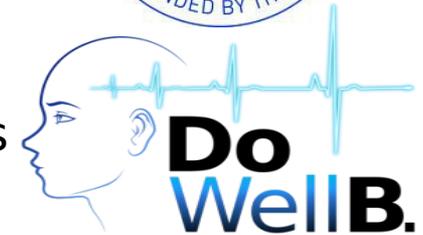
Cadre de l'étude

1



Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet financé par l'ANR

Titre du projet: Design of Well being Monitoring Systems



Partenaire



**U2
S**

Objectifs du projet:

- Analyse multivariée des signaux physiologiques dans le domaine de l'autisme
- Développement d'indices de bien être => « Smart devices »



**U2
S**



Laboratoire de
MATHÉMATIQUES
UMR 6620 UBP-CNRS

Analyse comparative de l'activité électrodermale entre deux sujets autistes et un sujet témoin :
vers l'extraction de signatures temporelles

Nadia Khalfa, Raja Ghozi et Mériem Jaïdane

Unité de recherche signaux et systèmes

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis

Université de Tunis El Manar

**28 Mai
2013**

**Congrès SMAI 2013
6^{ème} Biennale Française des Mathématiques Appliquées
et Industrielles**

Plan

3

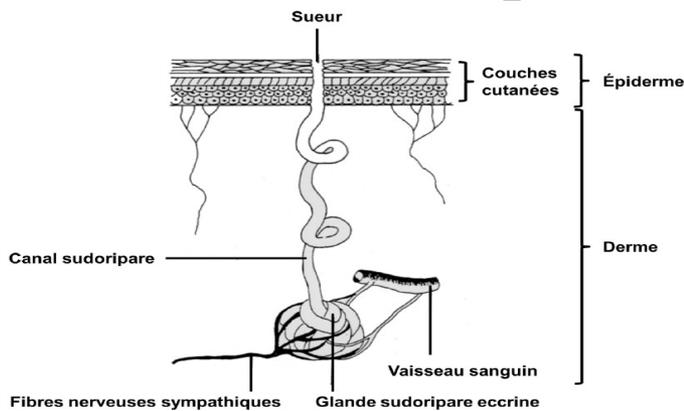
- ❑ **Problématique : Activité électrodermale et analyse fractale des storm**
- ❑ **Analyse fractale : indice de Hurst et la statistique IR**
- ❑ **Protocole : Zones « storm » et zones « calmes »**
- ❑ **Résultats préliminaires sur l'évolution temporelle de**
- ❑ **Conclusion : Résultats antérieures et perspectives**

Notions physiologiques : AED, RED et « Storm »

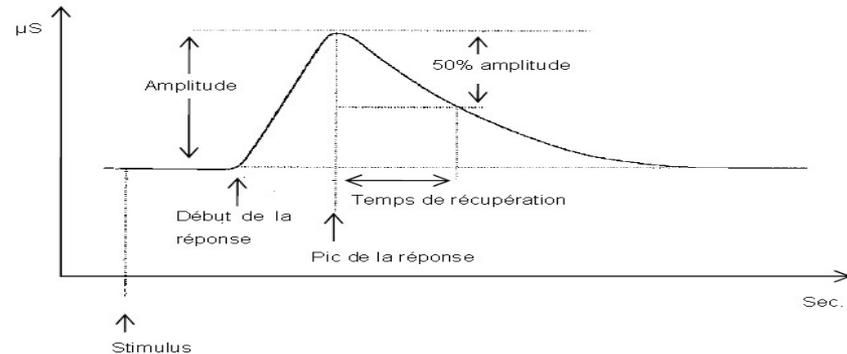
4

AED : enregistrement des variations de la conductance cutanée (μS) liées à la sudation.

- dépend de la branche sympathique du système nerveux autonome
- reflète l'état de vigilance et "état émotionnel"



Glande sudoripare eccrine sous contrôle de fibres nerveuses sympathiques



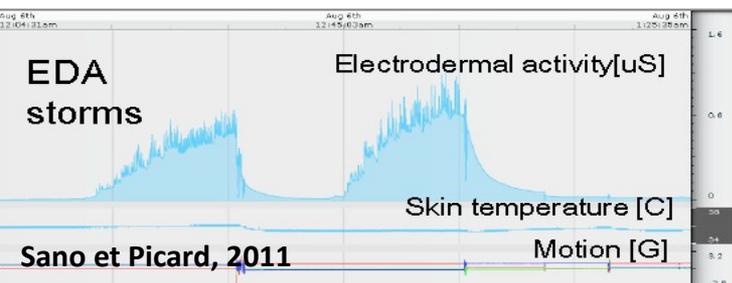
$$EDR(t > t_{iat}) = g \times \exp\left[-\frac{(t - t_{iat})}{t_{arousal}}\right] \times \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{t - T_{iat}}{t_{recovery}}\right)^{-2}\right]^2}$$

D'après Clarion 2009

Caractérisation fractale de la série temporelle du RED

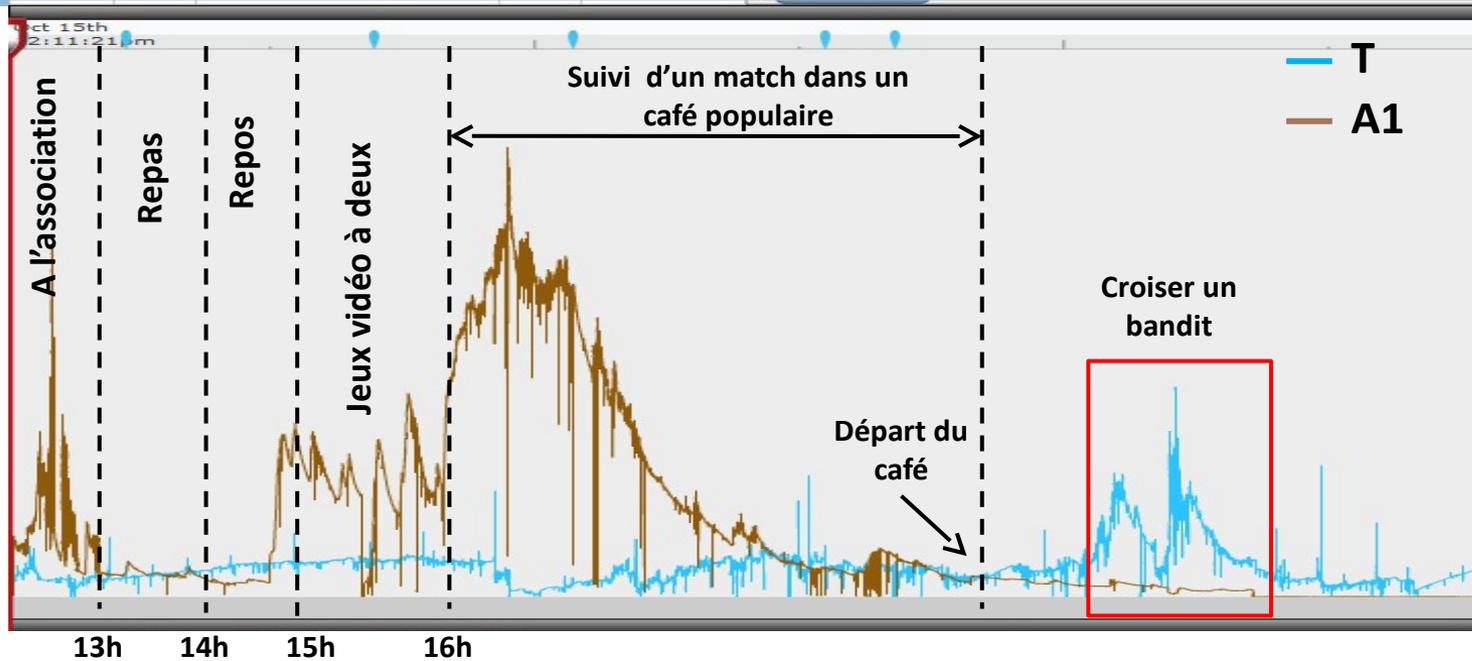
Un storm est défini comme étant 5 pics d'AED/min pour au moins dix minutes consécutives. Burch en 1965

Omniprésence de « Storm » y compris lors des phases de repos, sommeil, ..



Problématique: Analyse fractale de l'AED

5



Mesure simultanée de l'AED : sujet autiste (A1) et sujet témoin (T) durant toute une journée

→ On s'intéresse au contenu fractal de l'AED ?

indice de Hurst (H)

Longue mémoire

Régularité trajectorielle

Auto-similarité

□ H dépend de la probabilité pour qu'un évènement soit suivi d'un évènement similaire (aspect de persistance)

□ Par rapport à la

DF= 2-H

H	Interprétation
H<0.5	Anti-persistent
H=0.5	
H>0.5	Persistent

□ Estimation de l'indice de Hurst

- R/S statistique
- Variation quadratique/ variation quadratique généralisée
- Analyse en ondelette (Flandrin, 92)
- **Statistique Increment Ratio ou IR (Surgailis et al. 2007)**

□ Avantages de la statistique IR

- IR ne dépend pas de la variance du processus
- IR est numériquement facile à calculer

Analyse fractale: La statistique Increment Ratio (IR)

7

IR statistique : défini par Surgailis et al. (2008) pour estimer le paramètre de longue mémoire pour un processus stationnaire ou un processus gaussien à incrément stationnaires

Definition and properties of the Increment Ratio Statistic

Let X be a fractal stationarity process observed at the discrete times t_k for $k = 1, \dots, n$. We define the increments of order $a = 1$ of the process by

$$\Delta_a X(t_k) = X(t_{k+1}) - X(t_k),$$

and the increments of order $a = 2$ by

$$\Delta_a X(t_k) = X(t_{k+1}) - 2 \times X(t_k) + X(t_{k-1}).$$

Then, the IRS of order a for a sample of size n is defined as

$$IRS_{a,n}(X) = \frac{1}{n-2} \sum_{k=2}^{n-1} \psi(\Delta_a X(t_k), \Delta_a X(t_{k+1}))$$

where the function $\psi(\cdot, \cdot)$ is defined as follows

$$\psi(x, y) := \begin{cases} \frac{|x+y|}{|x|+|y|} & \text{if } (x, y) \in \mathbb{R}^2 \setminus \{(0, 0)\} \\ 1 & \text{if } (x, y) = (0, 0). \end{cases}$$

D'après Surgailis et al. 2007

Analyse fractale: Indice de Hurst (H) et IRS

8

In the case of the fBm with Hurst parameter $H \in (0, 1)$, we get the following Central Limit Theorem for the statistics $IRS_{a,n}$ [5, Corollary 4.3, p.13]

$$\sqrt{n}(IRS_{a,n}(B_H) - \Lambda_a(H)) \rightarrow \mathcal{N}(0, \Sigma_a^2(H)) \text{ with } \begin{cases} H \in (0, 3/4) & \text{if } a = 1 \\ H \in (0, 1) & \text{if } a = 2 \end{cases}$$

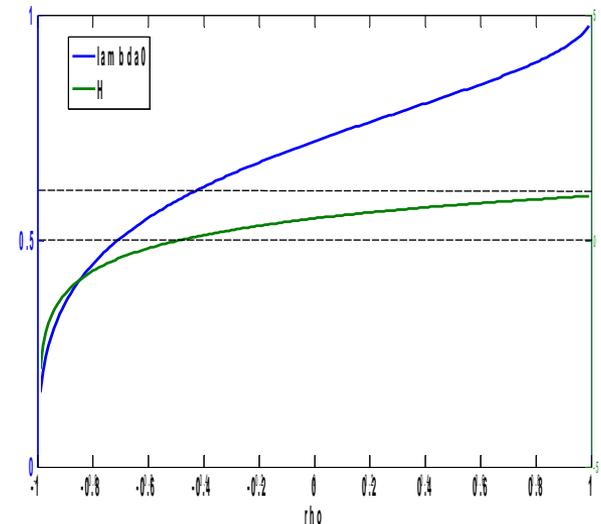
Tels que:

$$\Lambda_a(H) := \Lambda_0(\rho_a(H)),$$

$$\Lambda_0(r) := \frac{1}{\pi} \arccos(-r) + \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} \log\left(\frac{2}{1+r}\right),$$

$$\rho_a(H) = \begin{cases} 2^{2H-1} - 1 & \text{if } a = 1 \\ \frac{-3^{2H} + 2^{2H+2} - 7}{8 - 2^{2H+1}} & \text{if } a = 2 \end{cases}.$$

H	ρ
$0 < H < 0.5$	$-0.5 < \rho < -1$
$H = 0.5$	$\rho = -1$
$0.5 < H < 1$	$-1 < \rho < 1$



Protocole: Méthodologie

9

Mesure in vivo de l'AED avec un capteur sans fil de :

- Un jeune autiste et son ami durant une journée : association, voiture, café, match de foot,...
 - Un jeune autiste dans un centre commercial pendant 3 heures (trajet, accès....)
- Calcul de

Protocole

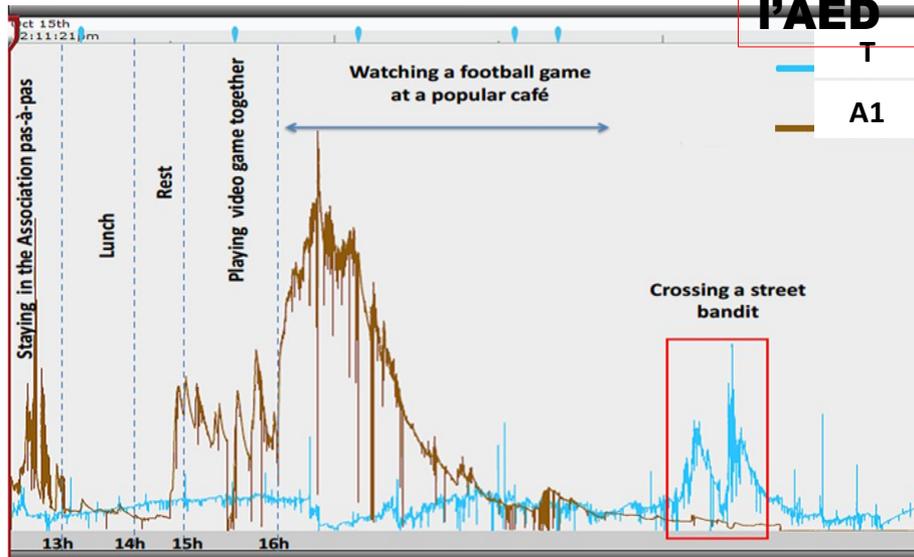
10



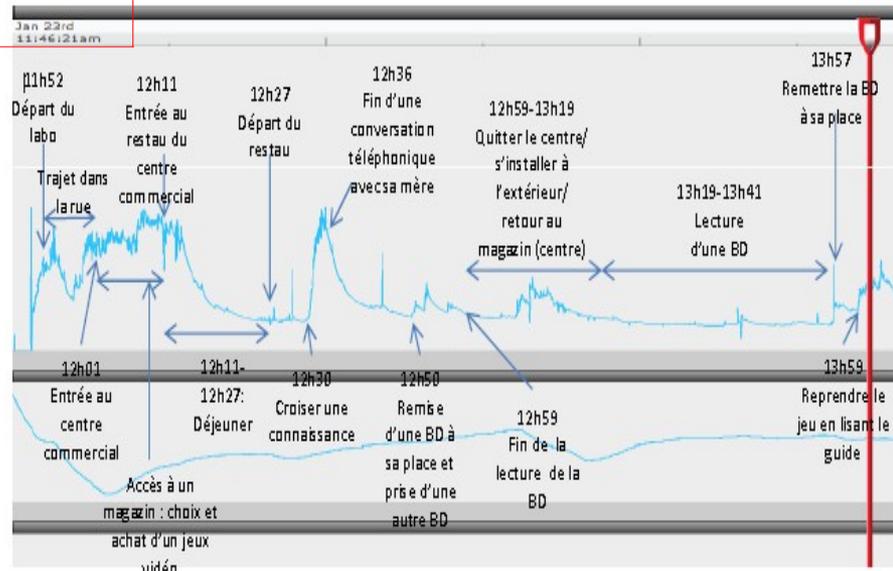
Capteur avec la technologie bluetooth qui mesure:

- AED à travers la conductivance de la peau
- Mouvement, via les accélérations x,y,z
- Température

Evolution de l'AED



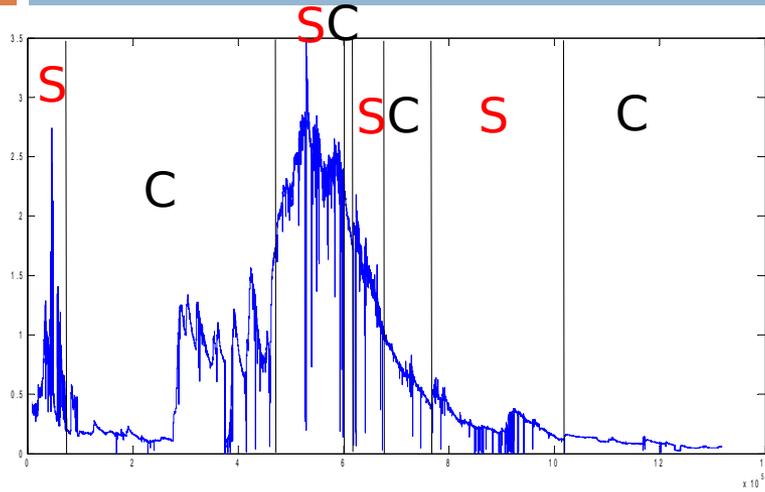
Un jeune autiste (A1) et son ami (T) durant une journée (association, trajet dans la voiture, café, match de foot)



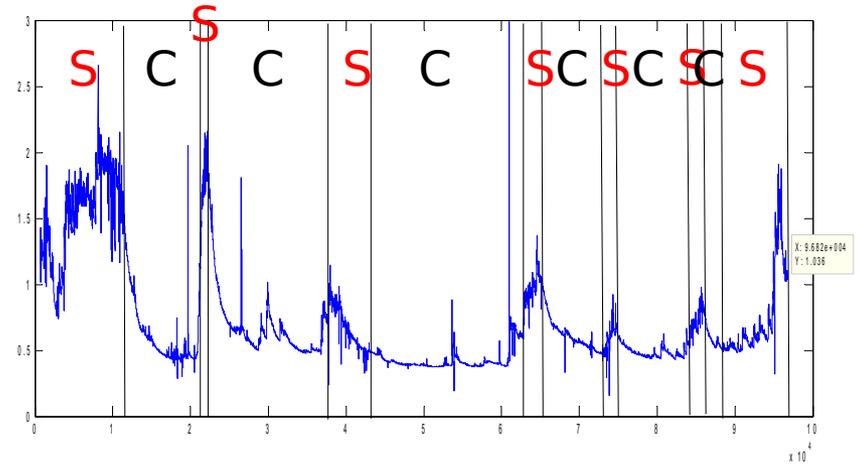
Un jeune autiste (A2) au centre commercial (trajet, choix d'un jeu, appel à la mère, restaurant, lecture)

Zones Storm (S) et calmes(C) de l'AED (Segmentation manuelle)

11



AED du sujet **A1** pendant une journée



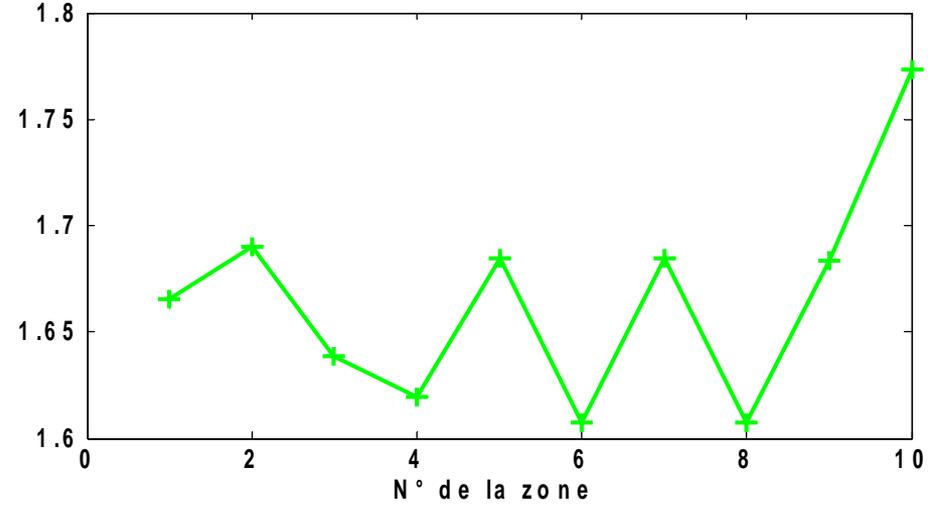
AED de **A2** pendant une demi-journée



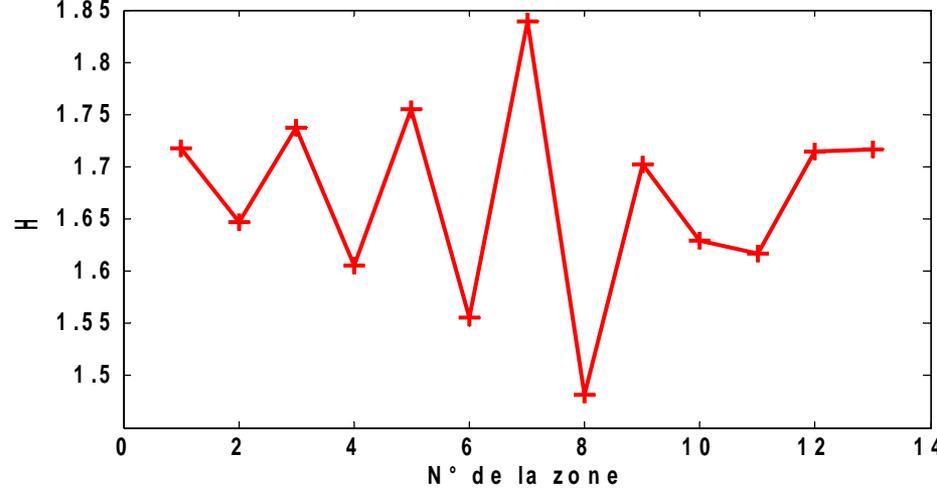
AED de **T** pendant une journée avec le sujet **A1**

Résultats: Estimation de H par l'IRS

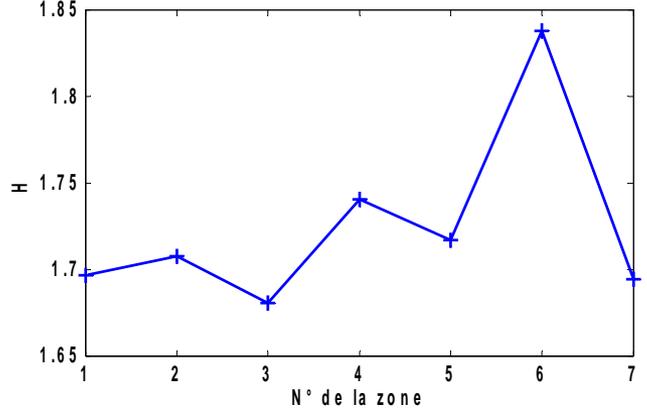
Variation of H of A1



Variation of H of A2

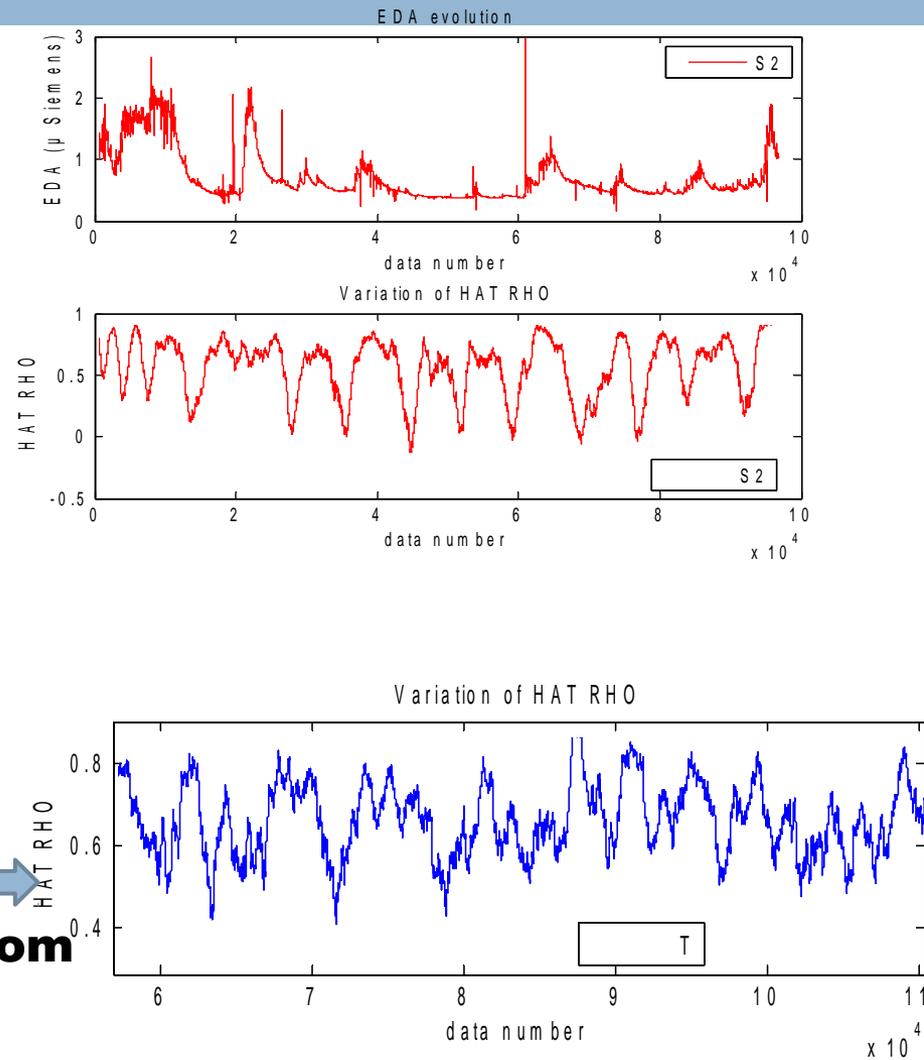
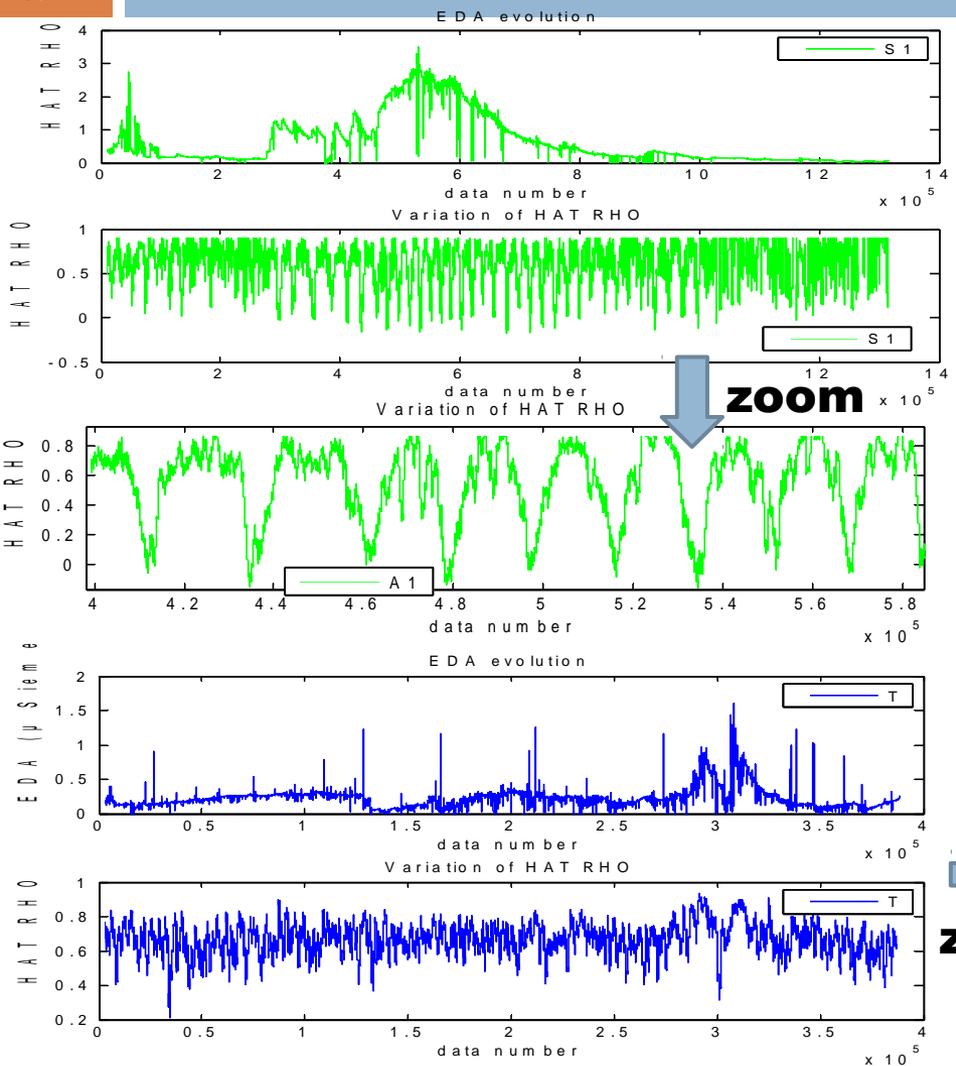


Variation of H of T



Résultat: Calcul de rho par fenêtre glissante

13



Conclusion: Analyse de l'AED et travaux en cours

Notions physiologiques	Approches mathématiques	Résultats et critiques	Publications
VRC et systèmes de régulation sympathiques et parasympathiques	<ul style="list-style-type: none">• Détection de ruptures sur la moyenne des signaux de sujets en activités physique intense• Calcul de l'énergie sur HF et LF + Détection de ruptures sur la moyenne	<ul style="list-style-type: none">• Compression d'une large série de données avec une représentation fidèle• Régulation sur les deux bandes: résultats à améliorer	Khalifa et el. 2012
AED et gestion du stress	<ul style="list-style-type: none">• Analyse temporelle de l'AED de sujets presbyacousiques• Analyse temporelle de l'AED de marathoniens• Analyse fractale de l'AED chez des jeunes autistes	<ul style="list-style-type: none">• Validation de la mesure AED Une bonne classification selon les zones (bruyant/calme)• Signature temporelle de début et fin de compétition• Résultats préliminaires	Ghozi et al. 2011 Khalifa et al. 2013

Références

- ❖ Burch, N., 1965, Data processing of psychophysiological recordings. In L. D. Proctor & W. R. Adey (Eds.), Symposium on the analysis of central nervous system data using computer methods (pp. 165-180). Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration.
- ❖ Clarion, A., 2009, Recherche d'indicateurs électrodermaux pour l'analyse de la charge mentale en conduite automobile.
- ❖ Surgailis, D., Teyssiere, G. and Vaiciulis, M., 2007, The increment ratio statistic. *J. Multiv. Anal.* 99, 510-541
- ❖ P. Flandrin, 1992, *IEEE Transactions on Information Theory*, vol.38, n°2
- ❖ Sano, A., Picard, R.W, Wang, H H., Stickgold R., 2011, Autonomic Sleep Patterns in Visual Discrimination Task Improvement, SLEEP 2011 Meeting, June 11-15, Minneapolis, Minnesota

Merci pour votre attention