

Mini-symposium SPTS

Statistique des séries temporelles physiologiques

Mini-symposium porté par l'ANR "Do Well B."



Résumé

L'utilisation de la statistique des séries temporelles dans les sciences biologiques est un domaine émergent.

- *The Journal of Time Series Analysis* lui a consacré un numéro thématique en septembre 2012.
- L'ANR a sélectionné le projet blanc intitulé "*Do Well B.*" (2013-2017) sur l'utilisation d'outils de statistique des séries temporelles pour mesurer le bien-être ou le stress d'enfants autistes, de sportifs et/ou de personnes au travail.

Nous proposons quelques exemples d'applications des séries temporelles à l'analyse de signaux physiologiques, dont certains correspondent aux débuts du projet ANR "*Do Well B.*"

Organisateur

1. **Pierre R. Bertrand**, Laboratoire de mathématiques, UMR 6620, Clermont-Ferrand.

Liste des orateurs

1. **Romain Hérault**, INSA Rouen.
Titre : Analyse de la dynamique temporelle des angles inter-segmentaires lors d'escalade sur glace.
2. **Pierre R. Bertrand**, Laboratoire de mathématiques, UMR 6620, Clermont-Ferrand.
Titre : Une méthode rapide de détection de ruptures : Dérivée filtrée + p-value.
3. **Nadia Khalfa**, École Nationale d'Ingénieur de Tunis (ENIT).
Titre : Analyse comparative de l'activité électrodermale entre un sujet autiste et un sujet témoin : vers l'extraction de signatures temporelles.
4. **Nourddine Azzaoui**, Laboratoire de mathématiques, UMR 6620, Clermont-Ferrand.
Titre : Analyse du rythme cardiaque de médecins urgentistes du CHU Clermont-Ferrand.

Pierre Raphael Bertrand, Laboratoire de Mathématiques UMR 6620 - CNRS et Université Blaise Pascal Campus des Cézeaux - B.P. 80026 63171 Aubière cedex,

Pierre.Bertrand@math.univ-bpclermont.fr

Romain Hérault, Laboratoire LITIS - EA 4108 - INSA de Rouen - Avenue de l'Université - BP 8 - 76801 Saint-Etienne-du-Rouvray Cedex,

romain.herault@insa-rouen.fr

Nadia Khalfa, Unité de recherche signaux et systèmes - Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis - Université Tunis El Manar - 1002 Tunis,

nadia.khalfa@gmail.com

Nourddine Azzaoui, Laboratoire de Mathématiques UMR 6620 - CNRS et Université Blaise Pascal Campus des Cézeaux - B.P. 80026 63171 Aubière cedex,

Nourddine.azzaoui@math.univ-bpclermont.fr

Introduction

Nous présentons quelques modèles stochastiques adaptés aux séries physiologiques. Trois types de signaux physiologiques indexés par le temps (séries temporelles) sont étudiées : angles inter-segmentaires (cf. section 1 ci-dessous), rythme cardiaque (cf. section 2 et 4 ci-dessous), conductance de la peau (section 3 ci-dessous). Plusieurs modèles de séries ou processus stochastique sont utilisés : série circulaire d'angles (cf. section 1 ci-dessous), série de variables indépendantes avec rupture sur la moyenne (cf. section 2 ci-dessous), processus de type fractal (cf. section 3 ci-dessous), processus gaussien localement stationnaires (cf. section 4 ci-dessous). Les sections 2, 3, et 4 correspondent aux débuts des travaux du projet ANR "*Do Well B.*"

1 Analyse de la dynamique temporelle des angles inter-segmentaires lors d'escalade sur glace (L. Seifert, J.-F. Coeurjolly, R. Héroult, L. Wattebled, K. Davids)

L'étude présentée dans [14] examine la dynamique temporelle des angles inter-segmentaires chez des grimpeurs de niveau différents sur cascade de glace afin de déterminer l'effet de l'expertise sur l'adaptation de la coordination motrice en relation avec les propriétés de la cascade de glace. Pour ce faire, nous observons deux séries temporelles circulaires qui correspondent aux membres supérieurs et inférieurs de sept grimpeurs sur glace experts et de sept amateurs. Nous analysons ces données au travers des points de rupture multiples dans la moyenne géodésique (ou de Fréchet) sur le cercle. Guidés par le fait que nous obtenons la moyenne géodésique par le biais d'une procédure d'optimisation, nous mettons en place une extension aux données circulaires de la méthode des dérivées filtrées qui est connue pour être rapide et peu coûteuse en calculs. Une estimation locale de la variabilité a été obtenue par le nombre de points de rupture calculés par les dérivées filtrées avec la méthode de p-valeurs pour les séries temporelles et l'erreur quadratique intégrée (EQI). Les résultats de l'analyse des points de rupture ne montrent pas une différence significative entre les groupes mais une EQI plus élevée qui suppose l'existence de plateaux pour les débutants. En outre, ils mettent en évidence une plus grande variabilité locale des angles des membres pour les experts que pour les débutants ce qui suggère une plus grande perméabilité des experts aux propriétés de l'environnement qui se traduit par une plus grande adaptation des comportements. Au contraire, la faible variance locale des angles des membres affichée par les débutants peut refléter une imperméabilité aux contraintes d'environnement pouvant se comprendre par le besoin de contrôle de l'équilibre du corps.

2 Une méthode rapide de détection de ruptures (P.R. Bertrand, M. Fhima)

Dans de nombreuses applications, on modélise les données par une série temporelle avec un nombre fini de paramètres structurels constants par morceaux. Ces paramètres changent brutalement, et il est pertinent de détecter les instants de ruptures. Le progrès technologique a entraîné l'accès à des flux de données longitudinales de grande (ou très grande) taille. Par exemple, on peut actuellement enregistrer tous les battements de coeur lors d'un marathon ou pendant 24 heures. Ceci conduit alors à des tailles de données $n = 40.000$ ou $n = 100.000$. Ce phénomène de grand jeu de données ou "*Data deluge*" est général depuis le début du 21ème siècle. Ceci a conduit à revisiter le problème de détection de ruptures a posteriori en prenant compte la complexité des algorithmes en fonction de la taille du jeu de données. Avant le déluge de données, la méthode la plus utilisée pour la détection de ruptures était la méthode des moindres carrés pénalisés (PLS= Penalized Least Squares), [3]. Sa complexité en temps de calcul et en mémoire utilisée est en $\mathcal{O}(n^2)$. Dans [5], nous avons introduit une nouvelle méthode de complexité $\mathcal{O}(n)$, à la fois en temps de calcul et en mémoire. Cette méthode est la combinaison de deux étapes : une étape 1, basée sur les moyennes mobiles, qui détecte les ruptures potentielles ainsi que de nombreuses fausses alarmes, une étape 2 qui élimine la majorité des fausses alarmes. Nous procédons à des comparaisons numériques avec la méthode PLS et donnons quelques exemples d'applications à des données physiologiques réelles (rythme cardiaque, [2, 12]).

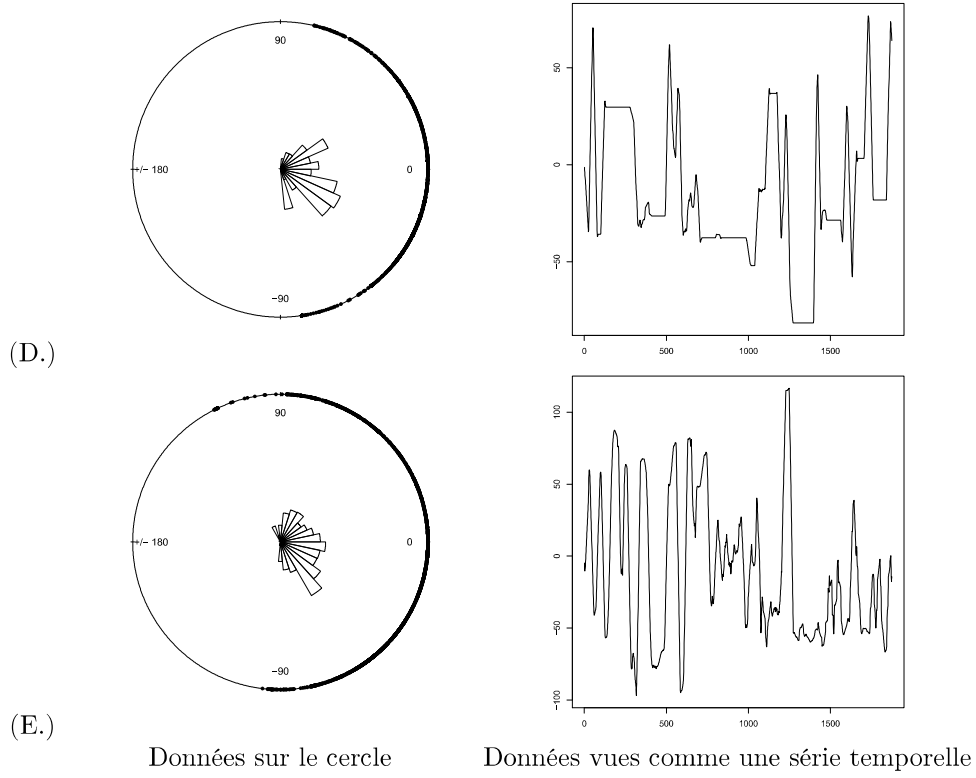


FIGURE 23 – Données angulaires des crampons pour les débutants (haut) et pour les experts (bas).

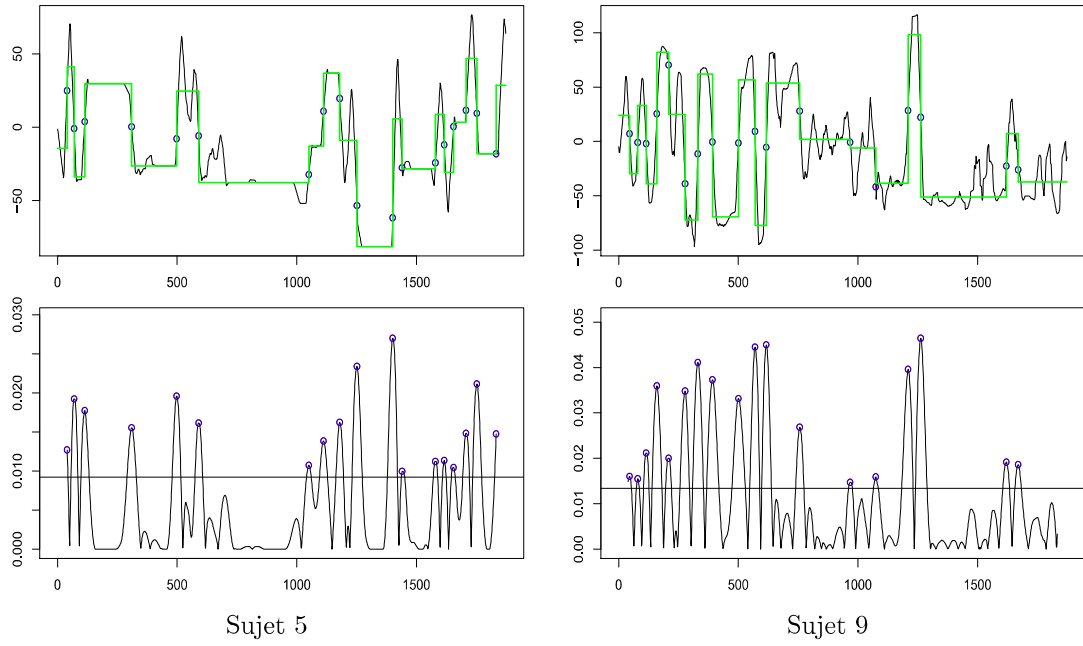


FIGURE 24 – Exemples d'analyse des points de rupture sur les données angulaires temporelles avec la méthode des dérivées filtrées

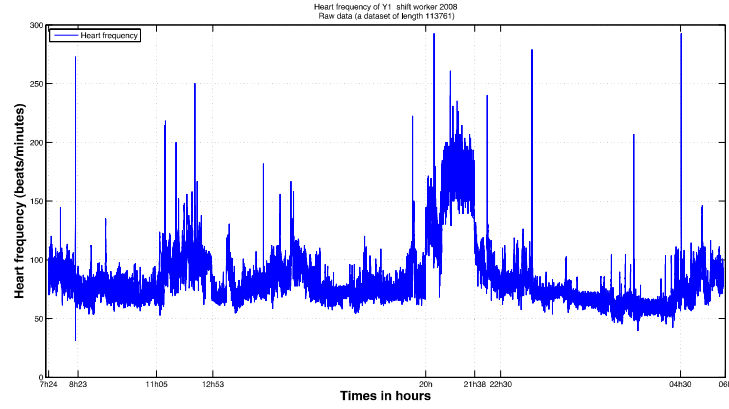


FIGURE 25 – Rythme cardiaque du travailleur Y pendant 24H (113.000 données)

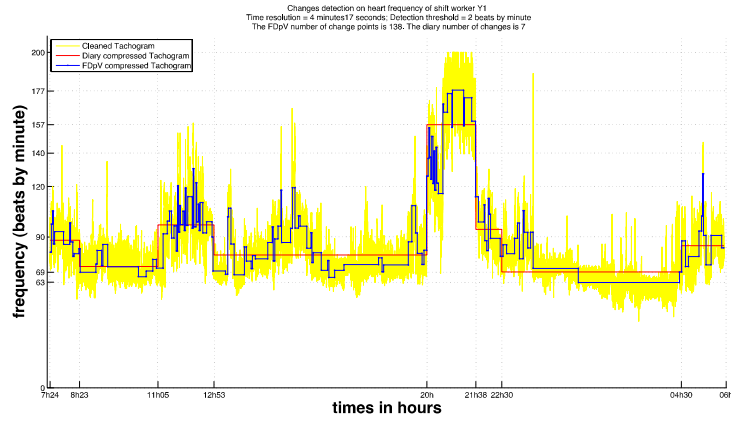


FIGURE 26 – Rupture sur la moyenne du Rythme cardiaque d'un travailleur pendant 24H

3 Analyse comparative de l'activité électrodermale entre un sujet autiste et un sujet témoin : vers l'extraction de signatures temporelles (N. Khalfa, R. Ghozi, M. Jaidane, ENIT)

L'activité électrodermale se mesure à travers la conductance de la peau (ou aussi la résistance). Elle reflète l'état d'activation émotionnelle d'un sujet et/ou sa charge mentale [6, 9, 11, 8]. Par ailleurs, des études ont confirmé la pertinence de cette mesure physiologique dans le cas de l'autisme [13]. Elle permet de suivre l'état de "stress" du sujet et par conséquent sa gestion des facteurs et conditions extérieures.

Dans le présent travail, on se propose d'analyser le caractère fractale de l'activité électrodermale, mesuré sur trois jeunes sujets (voir Fig.27) : deux autistes (S1,S2) et un sujet témoin (T).

Toutes les mesures ont été prises dans des conditions de vie "*normales*" hors hôpital et laboratoire. T (le sujet témoin) accompagnait S1 (le premier sujet autiste). S2, le second sujet autiste, a effectué un parcours indépendamment de T et S1.

Pour l'analyse du caractère fractal, on se propose d'utiliser la statistique IRS (Increment ratio statistic) [15] sur deux périodes différentes du signal électrodermal en distinguant les zones à haute et basse fréquence en termes de nombre de pics. Ainsi, on appellera une période 'storm' celles correspondant à plus de 5 pics/minute pendant au moins 10 minutes consécutives, sinon, c'est une période 'calme'. Notons que la notion de 'storm' était introduite par [7]. Un premier résultat est présenté sur la figure Fig.28

Il est à noter que le choix des périodes décrites est fait d'une manière purement visuelle. Un algorithme de détection et calcul de pics pourra être utilisé pour classer les différentes périodes du signal.

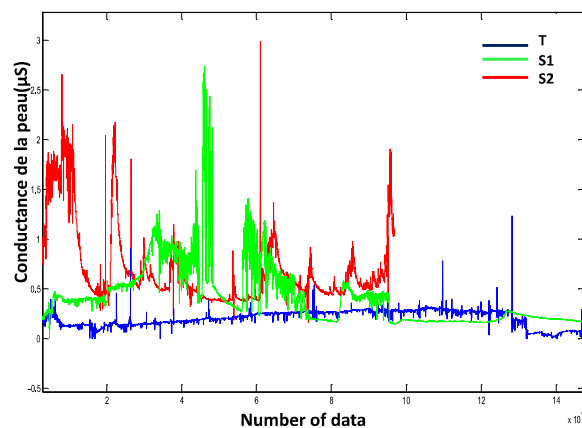


FIGURE 27 – Activité électrodermale, mesurée par la conductance de la peau en micro Siemens, de trois sujets : S1 (autiste), S2 (autiste) et T (sujet témoin)

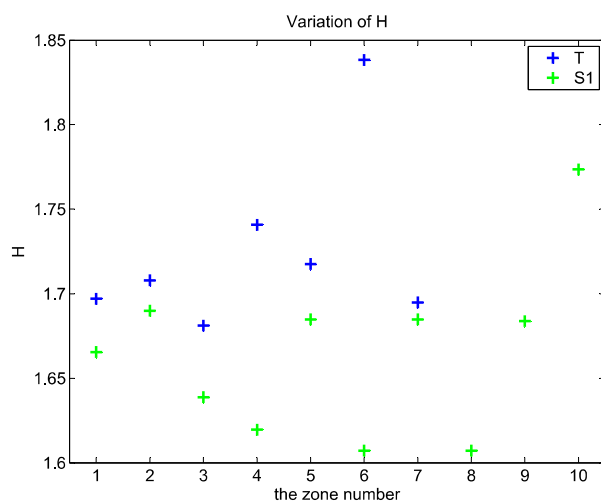


FIGURE 28 – Evolution de l'increment ratio statistic pendant les périodes calmes Vs les périodes storm de Activité électrodermale pour les sujets : S1 (autiste) et T (sujet témoin)

4 Analyse du rythme cardiaque de médecins urgentistes du CHU Clermont-Ferrand (N. Azzaoui, F. Dutheil, A. Chamoux, G. Boudet, C. Perrier, J. Schmidt)

Nous analysons le rythme cardiaque de médecins urgentistes pendant des gardes (service des urgences) et pendant les périodes de repos (travail administratif). En effet, la variabilité du rythme cardiaque reflète la régulation du coeur, [10, 16]. Nous modélisons la série de battements cardiaques par un processus gaussien localement stationnaire. La régulation du rythme cardiaque résulte de deux systèmes antagonistes : le système sympathique et le système parasympathique qui correspond à deux bandes de fréquence différentes. L'étude dynamique du rythme cardiaque est faite par la combinaison de deux méthodes statistiques : la transformée en ondelettes continue pour le calcul de l'énergie spectrale dans les bandes hautes fréquences (HF) et basses fréquences (LF) et la détection de ruptures [2, 5, 12]. Nous présentons un soft qui fait une analyse automatique de la série des battements cardiaques.

Références

- [1] , *Special issue on Time Series in the Biological Sciences*, Journal of Time Series Analysis, 2012.
- [2] AYACHE, A., AND BERTRAND, P.R. , *Discretization error of wavelet coefficient for fractal like process*, Advances in Pure and Applied Mathematics, vol.2, No. 2, 2011, 297–321.
- [3] BAI, J., AND PERRON, P. , *Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes*, Econometrica 66, 1998, 47–78..
- [4] BARDET, J-M., AND SURGAILIS, D., *Measuring the roughness of random paths by increment ratios*, Bernoulli, Volume 17, Number 2, 2011, 749–780.
- [5] BERTRAND, P.R., FHIMA M., AND GUILLIN, A., *Off-line detection of multiple change points with the Filtered Derivative with p-Value method*, Sequential Analysis, 30, (2), 2011, 172–206.
- [6] BOUCSEIN, W., *Electrodermal activity*, New York : Plenum Press, 1992.
- [7] BURCH, N., *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, 1965.
- [8] CLARION, A., *Recherche d'indicateurs électrodermaux pour l'analyse de la charge mentale en conduite automobile*, PhD Thesis presented in 2009, Claude Bernard university- Lyon I.
- [9] CLOCHARD, *L'activité électrodermale, technique pertinente pour l'évaluation des émotions ?*, 2010-2011.
- [10] DUTHEIL F., BOUDET G., PERRIER C., LAC G., OUCHCHANE L. , BROUSSE G., CHAMOUX A., DUCLOS M., AND SCHMIDT J., *JOBSTRESS Study : Comparison of heart rate variability in emergency physicians working a 24-hour shift or a 14-hour night shift in a randomized trial*, International Journal of Cardiology. 2012. doi : 10.1016/j.ijcard.2012.04.141..
- [11] GHOZI, R., FRAJ, O., KHALFA, N., JAIDANE, M. AND HUSSEIN, F., *Presbycusis and Stress Evaluation in Urban Settings*, 4th International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, Barcelone, October 2011.
- [12] KHALFA, N., BERTRAND, P. R., BOUDET, G., CHAMOUX, A., AND BILLAT, V., *Heart rate regulation processed through wavelet analysis and change detection. Some case studies.*, Acta Biotheoretica, Vol. 60, Issue 1-2, 2012, 109–129.
- [13] PICARD, R.W., SANO, A., KALIOUBY, R., *Palmar vs. Forearm EDA during Natural Sleep at Home*, 50th annual meeting of Society for Psychophysiological Research, Portland, OR, USA, Sep.29 - Oct.3, 2010..
- [14] L. SEIFERT, J.-F. COEURJOLLY, R. HÉRAULT, L. WATTEBLED, K. DAVIDS, *Temporal dynamics of inter-limb coordination in ice climbing revealed through change-point analysis of the geodesic mean of circular data*, Journal of Applied Statistics, in press.
- [15] SURGAILIS, D., TEYSSIÈRE, G. AND VAICIULIS, M., *The increment ratio statistic*, Journal of multivariate analysis, **99**, 2008, 510–541.
- [16] TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOC. CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY , *Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use*, Circulation 93 (5), 1996, 1043–1065.