

Master 2 Internship

Title: *Emergent behaviors in complex living systems : how to distinguish causality from independence ?*

Type: experimental and/or theoretical

Supervisor(s): Françoise ARGOUL

Email(s): francoise.argoul@u-bordeaux.fr

PhD funding (if any):

Project:

L'étude de systèmes complexes vivants se heurte immédiatement à la question de pouvoir identifier les dépendances cachées entre les composants internes et/ou externes au système, en partie parce qu'on ne dispose que d'un sous ensemble des variables (enregistrements temporels et / ou spatiaux). Comment quantifier des dépendances causales ou un flow d'information dans ce cas là? Ces questions sont particulièrement prégnantes quand on travaille dans les neurosciences, les sciences cognitives, la médecine du sommeil (apnée, désordres du sommeil...). Les physiciens et mathématiciens ont élaboré tout un corpus de concepts qui seront abordés pendant ce stage, tels que la causalité de Granger, la prédictabilité, le transfert d'entropie, l'information mutuelle, l'indépendance dynamique, l'émergence de Granger).

En pratique ce travail s'appuiera d'une part sur des simulations numériques avec des modèles neuronaux (neural mass model), ensembles d'équations différentielles classifiées sous ce terme par W.J. Freeman [1] pour récapituler le comportement collectif à une échelle mésoscopique (celle d'une mesure électroencéphalographique – EEG) d'une population de neurones (10^4 à 10^7) étroitement regroupés dans une zone de surface de 0.3 à 3 mm de surface (celle de la mesure d'un EEG par exemple, mais aussi d'un électrocardiogramme (ECG)). Le choix du modèle sera fait en fonction de la bande en fréquence de plus grande énergie des signaux choisis, qui reflètent en général un état cérébral particulier (sain ou pathologique). Par exemple, les bandes alpha et theta qui caractérisent les stades d'éveils et de somnolence. Le second volet de ce travail s'appuiera sur des méthodes de décomposition temps-fréquence des signaux EEG, ECG ... sur des bases de fonctions ondelettes continues, telles que la famille des ondelettes de Morse [2]. Ces outils, comme les modèles sont déjà programmés en langage python et pourront être adaptés par le stagiaire en fonction du choix des signaux physiologiques (enregistrés sur différents sujets et à des stades différents du sommeil).

La question sous jacente sera de comprendre comment des zones distantes du cerveau influencent (ou pas) d'autres zones, en fonction de l'état d'éveil de la personne [3]. En d'autre terme y-a-t-il des zones isolées des autres, ou découplées et pendant combien de temps? Est-ce un signe de transformation de certaines capacités cognitives ou physiques (cardio-vasculaire...)?

References :

- [1] W.J. Freeman : Mass action in the nervous system, Academic Press, N.Y. (1975 – Ed. 1).
- [2] A. Guillet, A. Arneodo & F. Argoul. Tracking rhythms coherence from polysomnographic records: A time-frequency approach. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 7 (2021) 624456.
- [3] L. Almairac, A. André, M. Pascal, A. Guillet, P. Argoul, F. Argoul, Temporal variability of spectral Granger causality from neural networks (EEGs) during sleep: a time-frequency approach, preprint soumis à *Frontiers on Network Physiology* (2025)