



COLLÈGE
DE FRANCE
1530

Jonathan Touboul
Equipe de Neurosciences Mathématiques
CIRB - Collège de France & Inria

Dynamiques spatio-temporelles de réseaux de neurones spatialement étendus

Le cerveau est un système fascinant d'un point de vue de la physique statistique. Il est composé d'un nombre gigantesque de cellules, parmi lesquelles se trouvent les neurones, briques de bases du traitement de l'information dans le cerveau. Ces neurones traitent l'information collectivement, se regroupant en grands ensembles structurés, les colonnes corticales, d'une taille de l'ordre de 50 μm à 1 mm contenant jusqu'à plusieurs centaines de milliers de neurones partageant les des propriétés et des entrées similaires.

Le comportement de chacun des neurones dans ces grands réseaux est fortement bruité. Ce bruit est lié d'une part aux entrées aléatoires, mais aussi au substrat biologique du processus de traitement de l'information. Or, contrairement à de nombreux systèmes physiques où le bruit est considéré comme un élément détériorant le signal, de nombreuses théories tendent à penser que le bruit dans le cerveau fait partie intégrante (ou serait même un élément essentiel) du code neuronal. C'est l'hypothèse que nous tenterons d'approfondir dans ce stage, en reliant le niveau de bruit dans le cortex aux comportements observés.

Dans ce cadre, nos travaux passés nous ont mené à découvrir un phénomène très surprenant : lorsque les neurones sont suffisamment hétérogènes (i.e., leurs propriétés suffisamment différentes les un des autres) émerge une synchronisation globale du réseau [1]. Cette étude préliminaire n'a pas pris en compte le fait que (i) les neurones ne sont pas connectés globalement mais suivant un graphe aléatoire où la probabilité de connexion décroît avec la distance et (ii) les délais de communication entre neurones. Récemment, nous avons dérivé les équations qui décrivent la limite thermodynamique de tels réseaux de neurones, ainsi que celle associée à des oscillateurs couplés [2,3].

L'objet limite est encore très mal compris, mais plusieurs travaux tendent à suggérer que la dynamique est très complexe et même chaotique [6,7]. L'objectif du stage sera de caractériser les dynamiques de ces systèmes limites dans le cadre de descriptions spatiales des réseaux neuronaux, en utilisant des méthodes de physique statistique. Il s'agit d'un sujet très actuel en neuroscience théorique et qui a fait l'objet de grandes avancées cette année [4,5], mais pour des systèmes sans dimension spatiale. L'objectif sera donc d'étudier la présence d'activité synchrone, d'activité localisée, d'ondes ou de fronts et leur stabilité en fonction des degrés de désordre du système, de la façon dont les neurones sont connectés et du niveau de bruit.

Ces phénomènes de synchronisation sont essentiels dans le cortex: ils sous-tendent des phénomènes tels que la mémoire, l'apprentissage, et leurs troubles sont souvent associés à des pathologies comme l'épilepsie.

Lieu

Équipe de Neurosciences Mathématiques, CIRB - Collège de France.

Le stage donnera lieu à une rémunération

Contact:

Jonathan Touboul, jonathan.touboul@college-de-france.fr

References :

- [1] G. Hermann & J. Touboul, Phys. Rev. Let. 2012
- [2] T. Cabana & J. Touboul, arXiv preprint 1510.06957 &
- [3] T. Cabana & J. Touboul, arXiv preprint 1601.00985
- [4] J. Kadmon & H. Sompolinsky, Phys. Rev. X 2016
- [5] Goedeke S, Schuecker J, Helias M, arXiv preprint 1603.01880
- [6] Sompolinsky Crisanti & Sommers, Phys. Rev. Let. 1988
- [7] G. Wainrib & J. Touboul, Phys. Rev. Let. 2013