

HE Ailin

QIAO Lei

YIN Chengshuang

ZHU Dan

**Rapport de Neurosciences Computationnelles:
“Spontaneous cortical activity in awake monkeys
composed of neuronal avalanches”**

**Article de Thomas Petermann, Tara C. Thiagarajan, Mikhail A.
Lebedev, Miguel A. L. Nicolelis, Dante R. Chialvo and Dietmar Plenz**



**CENTRALE
MARSEILLE**

16 mai 2018

Parcours SISN

Ecole Centrale de Marseille

1. Introduction

Le cortex cérébral présente une activité spontanée, également appelée activité « en cours » ou « au repos », qui persiste en l'absence de stimuli sensoriels ou de sorties motrices. L'activité en cours a été trouvée pour refléter de multiples aspects du traitement neuronal. Les corrélations au cours de l'activité au repos sont modifiées dans des états pathologiques tels que la schizophrénie ou la douleur chronique, ce qui pose la question de savoir s'il existe un cadre général qui décrit les statistiques dans l'organisation spatio-temporelle de cette dynamique.

Récemment, nous avons trouvé que l'activité corticale spontanée dans les cultures de tranches, les tranches aiguës et chez le rat anesthésié *in vivo* a une dynamique invariante d'échelle appelée avalanches neuronales. Ces salves spontanées d'activité synchronisée se produisent dans des amas de tailles s (où s est le nombre de sites actifs dans un réseau d'électrodes) qui se répartissent selon une loi de puissance avec l'exposant α : $P(s) \sim s^{-\alpha}$

Cette étude a examiné la généralité de la dynamique des avalanches chez les singes rhésus éveillés. Nous démontrons que l'activité en cours est composée d'avalanches neuronales en démontrant son invariance à diverses transformations d'échelle dans l'espace, le temps et une troisième dimension, le seuil d'amplitude nLFP.

2. Matériaux et méthodes

Des réseaux de microélectrodes ont été implantés de manière chronique dans le cortex de deux singes rhésus adultes, comprenant le cortex somatosensoriel et le cortex moteur gauche du singe A, ainsi que les bras bilatéraux et le cortex prémoteur dorsolatéral du singe B. La LFP et l'activité de l'unité ont été échantillonnées simultanément à partir de chaque électrode. L'activité de dopage extracellulaire a également été échantillonnée. L'activité des ondes lentes a été supprimée afin d'exclure les états de sommeil.

Pour détecter le nLFP, l'activité de la LFP sur chaque électrode a d'abord été normalisée. Ensuite, les nLFP de chaque électrode ont été combinés en rasters nLFP. Les distributions résultantes des tailles et des durées de vie des clusters nLFP ont été obtenues en tant que moyennes sur les rasters. Les fonctions d'intercorrélation entre les sites corticaux ont également été calculées à partir des rasters et moyennées.

En tant que contrôles, des rasters nLFP uniformément randomisés ont été utilisés. Enfin, la mise à l'échelle des distributions de taille a été effectuée pour l'analyse robuste de la queue lourde. Les distributions ont été comparées en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov (KS) bilatéral. ANOVA et régression linéaire ont été appliqués à des données normales ou log-transformées. La signification a été établie à P inférieure ou égale à 0,05 et les valeurs sont données comme moyenne \pm écart-type.

3. Résultats

3.1 Les nLFP *in vivo* s'organisent en avalanches neuronales

Nous avons mesuré la LFP en cours et l'activité de l'unité en continu pendant environ 40 minutes en utilisant des réseaux de microélectrodes dans le cortex cérébral de deux singes rhésus éveillés, qui étaient assis dans une chaise de singe. Les sons externes ont été minimisés. Les singes n'étaient pas tenus de faire une tâche comportementale ou de répondre à un stimulus particulier, alors qu'ils maintenaient leur posture corporelle et leur vigilance générale. Le résultat

montre que les amplitudes maximales de la nLFP au cours de l'activité en cours fournissent une bonne approximation du taux d'allumage instantané et du degré de synchronisation de la pointe de la population neuronale locale.

Nous avons ensuite regroupé les nLFP en grappes spatiotemporelles en fonction de leur occurrence dans des intervalles de temps successifs. Pour les deux singes et tous les réseaux, la loi de puissance variait de la plus petite taille de grappe de 1 électrode, au nombre maximal d'électrodes dans la matrice. La loi de puissance identifie une relation d'échelle dans la formation spontanée de corrélations spatiales à longue portée dans le système.

La distribution de la loi de puissance des clusters nLFP est spécifique aux fluctuations de nLFP et est spécifique de la profondeur corticale: 1) les LFP ne peuvent pas servir de contrôle indépendant. 2) le réarrangement de phase de la LFP, qui modifie la relation temporelle entre les fréquences sur et entre les sites sans affecter la mise à l'échelle $1/f\beta$, détruit la loi de puissance dans les tailles de cluster nLFP. 3) les clusters nLFP sont le plus souvent composés de nLFP spatialement non contigus quelle que soit la résolution temporelle choisie, contrairement à ce qui est prévu pour la détection de la conduction volumique ou du chevauchement des signaux. 4) la loi de puissance dans les tailles de cluster nLFP n'est présente que dans des couches plus superficielles du cortex démontrant la spécificité de couche de l'organisation, en fonction de la localisation des avalanches neuronales aux couches superficielles dans la tranche aiguë, la culture tranche et le rat anesthésié.

3.2 L'organisation d'avalanche est invariante au seuil de détection nLFP

Nous avons visualisé l'organisation hiérarchique auto-similaire des amplitudes nLFP en remplaçant les rasters nLFP à différentes échelles temporelles et d'amplitude. À $z = -4,5$ SD, le taux de nLFP était faible, mais la visualisation des données à une échelle temporelle faible a révélé le regroupement spatio-temporel des nLFP. D'un autre côté, les amas apparaissant homogènes à haut seuil et à faible résolution temporelle ont engendré de nouveaux amas à des seuils successivement plus bas et ont augmenté les résolutions temporelles.

Ces résultats démontrent clairement que le sous-échantillonnage de l'activité invariante d'échelle, c'est-à-dire tous les événements supérieurs à un seuil donné, diffère du sous-échantillonnage aléatoire de l'activité synchronisée, qui sous-estime la probabilité de grandes grappes.

3.3 La durée de vie de l'avalanche reste échelle-invariant sur le temps et le borne de nLFP.

Dans le cas d'un système dynamique, l'échelle invariance de la taille de l'avalanche est accompagnée avec l'échelle invariance de la durée de vie de l'avalanche.

Comme indiqué sur la figure suivant: A, la durée de vie de l'avalanche T varie beaucoup avec s donné, même si l'avalanche plus long tend d'avoir une taille plus grande; B, quand on change l'échelle avec plusieurs Δt , les fonctions de durée de vie effondrent; C, les fonctions de durée de vie sont similaires à l'échelle invariance avec nLFP.

4. Discussion

4.1 L'invariance d'échelle dans le temps, l'amplitude nLFP et la mise à l'échelle de taille finie sont cohérentes avec un état critique.

Les lois de puissance dans les distributions de taille de cluster sont le plus probablement le résultat d'une dynamique d'état critique. Les hiérarchies autosimilaires d'événements à travers le temps, l'espace et l'amplitude sont universellement trouvées dans les systèmes qui sont près d'un

point critique d'une transition de phase entre l'ordre et le désordre.

Les scénarios dynamiques alternatifs sont difficiles à traduire en différentes échelles. Une structure harmonique globale après enlèvement de sections entières d'électrodes implique un mécanisme commun dans l'espace, un argument analogue s'appliquerait à différentes échelles temporelles.

Un état critique n'apparaît pas arbitrairement dans les réseaux corticaux, mais cette propriété d'activité spontanée émerge lorsque les couches superficielles du cortex se différencient d'abord de la plaque corticale au cours du développement, propriétés qui résultent de l'organisation spécifique des circuits corticaux.

4.2 Implications pour les réseaux corticaux à grande échelle.

Il y aura des applications importantes dans le domaine de réseau cortical à grande échelle avec l'invariance d'échelle dans la formation spontanée de grappes.

Un grand réseau peut prendre en charge une grande diversité de tailles de grappe, y compris celles qui filtrent l'étendue maximale du système. Ceci implique que la taille maximale de grappe est contrainte par la taille de systèmes mais pas le dynamisme de système. Et il s'accorde avec les expériences. Dans les expériences, la taille maximale de grappe mesurée ou la surface occupée par une grappe n'a été limitée que par le nombre d'électrodes. En outre, le grand nombre de régions et de conditions où la dynamique des avalanches neuronales a été observée. Cela implique également que la dynamique peut s'étendre à plusieurs régions plutôt que d'être limitée à des régions spécifiques.

Comme cela a été montré dans des réseaux bien identifiés, une dynamique cible peut être atteinte par une pléthore de réalisations réseau différentes. Des simulations numériques ont montré que des avalanches peuvent survenir à l'état critique dans des modèles avec des topologies sans échelle, complètement connectées, aléatoire et plus proches, bien que dans chaque cas les conditions pour atteindre la criticité peuvent être différentes. Dans les cultures corticales, les avalanches établissent une architecture fonctionnelle du petit monde avec une connectivité point à point spécifique et hautement diversifiée entre les sites corticaux, globalement et localement. Les augmentations ontogénétiques et phylogénétiques du volume cortical permettent naturellement une plus grande capacité fonctionnelle sans nécessiter une réorganisation fondamentale et sophistiquée du système.

5. Conclusion

Les résultats suggèrent que la criticité est une propriété générique de l'activité du réseau cortical. L'analyse de l'organisation interne des avalanches dans le cadre d'un processus de branchement peut nous donner une compréhension intuitive de la criticité. Les avalanches neuronales sont les expressions de l'état critique, dont la signification fonctionnelle devrait être appréciée. Ils maximisent l'information mutuelle entre les groupes de neurones tout en évitant l'activation massive et non sélective. De plus, indépendamment du type d'entrées que reçoit chaque région du cortex, l'état critique doterait chaque colonne spatio-temporelle ou zone de cortex d'une gamme dynamique maximale de traitement, ainsi que de maximiser le transfert d'informations vers d'autres zones corticales. On peut deviner que ces réseaux avec les plus grands répertoires ont été sélectionnés par rapport aux autres tout au long de l'évolution. Par conséquent, l'activité spontanée décrite ici pourrait sous-tendre toutes les fonctions corticales.